

VOORWOORD

Het feit dat nu, 22 jaar na het verschijnen, de oude (tweede) uitgave van het Cultuurtechnisch Vademecum uit 1988 nog in digitale vorm toegankelijk wordt gemaakt, is in zekere zin verrassend te noemen. Immers in 2000 is er een geheel herziene derde versie van het Vademecum verschenen. In het voorwoord van deze derde uitgave wordt gesteld:

De kennis over de inrichting van het landelijk gebied is voortdurend in ontwikkeling.

Nieuwe kennisgebieden zoals natuurontwikkeling en milieu zijn niet meer weg te denken.

En ook op het gebied van het waterbeheer zijn de inzichten over inrichting en beheer sinds de tweede druk sterk geëvolueerd. De uitgave van 1988 was dringend aan herziening toe.

Vooraf geleet op de laatste zin rijst dan toch de vraag: Waarom wordt nu in 2011 toch weer die oude uitgave uit 1988 uit de kast gehaald?

Een mogelijke verklaring hiervoor zou kunnen zijn de veranderingen in de methodiek van het onderzoek dat zich in de laatste decennia heeft voltrokken. Het oude Vademecum is geschreven in het midden van de tachtiger jaren door onderzoekers die veelal een sterke binding hadden met de praktijk: landbouwkundigen, bodemkarteerders, waterbeheerders, landinrichters e.d.. Wel waren er voor de verschillende vakgebieden reeds computermodellen beschikbaar doch deze 'eerste generatie' modellen waren nog relatief eenvoudig en traag. Resultaten van computermodellen werden gevalideerd op basis van de resultaten van beschikbare proefveldgegevens, praktijkinzichten en 'gezond-boeren-verstand'. De bijdragen aan het oude Vademecum zijn daardoor met name op het gebied van bodem en water nog in belangrijke mate gebaseerd op empirisch onderzoek en resultaten van veldproeven.

Sinds de opkomst van de computermodellen is er nauwelijks of geen energie en geld meer gestoken in veldproeven en praktijkonderzoek. Het beeld ontstond dat men met modellen vrijwel alles kon berekenen. Computers werden steeds sneller en de modellen steeds complexer. Onderzoek werd een zaak van de theoretische wetenschap en modellenbouwers. Modellen werden onderling gekoppeld; (geo)hydrologische modellen aan onverzadigde stromingsmodellen, onverzadigde stromingsmodellen aan gewasgroeimodellen en gewasgroeimodellen aan bedrijfsvoeringsmodellen.

In deze periode werd geconcludeerd dat het Vademecum uit 1988 dringend aan herziening toe was.

Met de geavanceerde computermodellen berekent men uitkomsten tot vele decimalen achter de komma. Zolang we echter niet weten of de uitkomsten vóór de komma bij benadering overeenkomen met de werkelijkheid levert een gedetailleerdere berekening nauwelijks of geen meerwaarde op. Wellicht is dat ook de reden dat bijvoorbeeld de HELP-tabellen uit 1987, waarvan al meer dan tien jaar lang wordt geroepen dat deze dringend aan herziening toe zijn, nog steeds in gebruik zijn en waarschijnlijk ook de volgende tien jaar nog wel zullen overleven.

Computermodellen kunnen een belangrijk hulpmiddel zijn, maar alleen als deze modellen goed gevalideerd zijn. En hiervoor zijn praktijkgegevens en metingen onontbeerlijk. En als deze ontbreken dienen de uitkomsten te worden beoordeeld op basis van praktijkinzicht en 'Gezond Boeren Verstand'. Dat is altijd nog beter dan de uitkomsten van de berekeningen blindelings voor juist aan te nemen.

Onderzoekers met praktijkervaring zijn inmiddels echter voor een groot deel met de VUT, met pensioen, of anderszins uit beeld verdwenen. Wellicht dat hierin een verklaring ligt voor het feit dat het oude Vademecum ook na bijna 25 jaar nog steeds niet is afgeschreven.

G.J. Grotentraast

Eindredacteur Cultuurtechnisch Vademecum 1988

Cultuur technisch vademecum

Werkgroep Herziening Cultuurtechnisch vademecum

Cultuurtechnische vereniging, 1988

Colofon

Uitgave	Cultuurtechnische vereniging, Rijkskantorengedouw Westraven Griffioenlaan 2, 3526 LA Utrecht postbus 20021, 3502 LA Utrecht
Samenstelling	Werkgroep Herziening Cultuurtechnisch vademecum
Tekenwerk	Grontmij, De Bilt
Omslag ontwerp	Mike Orbán, Afd. Voorlichting en Inspreek Landinrichtingsdienst
Zetwerk	Brouwer Offset B.V., Utrecht Landbouw Universiteit Wageningen (figuren)
Druk	Brouwer Offset B.V., Utrecht Drukkerij Modern (kaartbijlage)
Oplage	2.500 exemplaren
Kaartbijlage	Stichting voor Bodemkartering
ISBN	90-9002366-6

Voorwoord

De Cultuurtechnische vereniging stelt zich onder meer ten doel de technische kennis van de leden te vermeerderen en de toepassing hiervan in de praktijk te stimuleren.

Het is daarom, dat reeds in 1965 het initiatief genomen is om tot de uitgave te komen van het 'Cultuurtechnisch vademecum'.

Deze uitgave welke in 1971 is verschenen heeft zijn nut bewezen voor de praktijk, doch zeker ook voor onderwijsdoeleinden.

Aangezien we in een dynamisch tijdperk leven, waarbij de maatschappij en de techniek veelvuldig aan wijzigingen onderhevig zijn, ontstond de behoefte aan een herziening. In 1981 heeft de Cultuurtechnische vereniging een werkgroep daartoe opdracht gegeven, welke – naar later bleek – van zeer brede omvang was.

Het doet mij dan ook veel genoegen dat deze opdracht in 1988 als voltooid kan worden beschouwd. In dit jaar is ook de 4e nota op de ruimtelijke ordening verschenen. Het motto van deze nota is: 'Nederland in 2015. Daar wordt nu aan gewerkt'.

Aangezien onze bemoeienis groot is met betrekking tot de aanpassingen in het landelijk gebied, spreek ik het vertrouwen uit, dat een ieder bij deze werkzaamheden een steun kan hebben aan dit vernieuwde Vademecum.

*ing. A.F. Bilijam
voorzitter Cultuurtechnische vereniging*

Bij gebruik en/of overname van gegevens uit het Cultuurtechnisch vademecum, wordt bronvermelding op prijs gesteld.

De Cultuurtechnische vereniging sluit iedere aansprakelijkheid uit voor eventuele schade voortvloeiende uit het gebruik van gegevens en/of informatie uit deze publikatie.

De samenstellers houden zich aanbevolen voor opmerkingen en suggesties die kunnen leiden tot een verbetering van het Vademecum.

Cultuurtechnische vereniging, 1988

Inleiding

Het voorliggende boekwerk is een hernieuwde uitgave van het in 1971 verschenen Cultuurtechnisch vademecum.

Alhoewel de aanvankelijke doelstelling was beperkt tot een herziening van het bestaande Vademecum werd al spoedig duidelijk dat bij diverse onderdelen en vakgebieden de ontwikkelingen in kennis en inzicht van dien aard waren, dat niet volstaan kon worden met een beperkte herziening. Gekozen is daarom voor een compleet nieuwe opzet van het Vademecum.

Dit bood tevens de mogelijkheid om een aantal nieuwe onderwerpen op te nemen zoals onder andere: Remote Sensing, Bodemgeschiktheid, Waterkwaliteit en Natuurtechniek. Andere onderdelen zijn aanzienlijk uitgebreid.

Onder auspiciën van de Studiekring voor Cultuurtechniek is tezelfdertijd een boekwerk samengesteld met als titel: 'Inleiding tot de inrichting van het Landelijk gebied'. Alhoewel er ongetwijfeld op onderdelen parallellen aanwezig zullen zijn met het Cultuurtechnisch vademecum, is de uitgave van de Studiekring meer gericht op achtergrondinformatie, regelgeving en procedures. In dit opzicht vormt het een goede aanvulling op het Vademecum, dat meer technisch gericht is.

De ontwikkelingen in kennis en inzicht zijn met name in het laatste decennium in een stroomversnelling gekomen door de toepassing van geautomatiseerde reken-technieken en computermodellen. Dit heeft echter niet altijd geleid tot een eenduidiger beeld; integendeel, veelal werd hierdoor juist de betrekkelijkheid van tot nu toe algemeen aanvaarde normen en criteria aangetoond.

Duidelijk is wel geworden dat vele zaken niet benaderd mogen worden als op zichzelf staande, geïsoleerde processen, doch dat deze bezien moeten worden in samenhang met een groot aantal andere factoren.

Door het onderkennen en in rekening brengen van deze relaties en interacties is op vele vakgebieden een meer genuanceerd beeld verkregen.

Bovengenoemde ontwikkelingen zijn mede van invloed geweest bij het samenstellen van het onderhavige boekwerk. Om recht te doen aan het genuanceerde beeld en om de betrekkelijkheid van bepaalde normen en criteria aan te geven, was het noodzakelijk om naast een groot aantal tabellen en figuren, meer beschrijvende tekst op te nemen dan in het vorige Vademecum het geval was. Het feit dat dit boekwerk hierdoor qua opzet meer neigt naar een handboek/leerboek dan naar een vademecum is door de samenstellers onderkend, doch in het licht van het bovenstaande als een onontkoombaar fenomeen geaccepteerd. De werkgroep heeft hierin echter geen aanleiding gezien de naam van het Vademecum te wijzigen, temeer daar het boekwerk primair bedoeld is als naslagwerk en handleiding voor mensen die in de praktijk (zowel onderzoek als uitvoering) werkzaam zijn. Daarnaast kan het echter ook als leerboek goede diensten bewijzen.

De werkgroep heeft niet de illusie dat met het uitbrengen van het Vademecum het laatste woord qua kennis op het gebied van Cultuurtechniek en Landinrichting is geschreven. Het tegendeel is eerder het geval. De geschetste ontwikkelingen die in de achterliggende jaren in gang zijn gezet, zullen zich in de toekomst voortzetten, waardoor inzichten opnieuw zullen wijzigen en bestaande opvattingen zullen moeten worden herzien.

Het onderhavige Vademecum geeft een momentopname van de huidige kennis en inzichten.

Het is niet onmogelijk dat reeds ten tijde van het verschijnen van het Vademecum op bepaalde onderdelen de inzichten zijn gewijzigd of zich nieuwe ontwikkelingen hebben voorgedaan. Als voorbeeld kan worden genoemd het verschijnen van de 4e Nota Ruimtelijke Ordening in 1988, waaraan in het Vademecum geen aandacht meer kon worden besteed. Gelet op het tijdsverloop tussen het samenstellen van de onderdelen en het verschijnen als boekwerk, is het voorkomen van deze omissies bij een boekwerk van deze omvang welhaast onvermijdelijk.

De Werkgroep Herziening Cultuurtechnisch vademecum was als volgt samengesteld:

- ing. A.C. de Birk, LD – voorzitter;
- ing. G.J. Grotentraast, LD – secretaris;
- J.W. Alings, LD;
- ing. W.A. van Bree, LD;
- ing. K. Dekker, LD;
- ing. A.J. Gelok, LD;
- ing. H.C. van Heesen, StiBoka;
- ing. G.H. Horst, LD;
- ing. W.A.J.M. Kroonen, ICW;
- ing. J.M.A. Mols, LD;
- ing. G.W. Nijenhuis, LUW;
- ing. G.H. Reinds, ICW;
- ing. G.J. Schothorst, ICW;
- ing. G.A. Ven, RIJP.

Behalve door de leden van de werkgroep, is bij de samenstelling van het Vademecum medewerking verleend in de vorm van een (concept) bijdrage en/of een kritische becommentariëring door de volgende personen, instanties en werkgroepen (in alfabetische volgorde):

- ir. H.A. van Alderwegen (ICW);
- dr.ing. H. de Bakker (StiBoka);
- ing. J.G. Bakker (LUW);
- prof.ir. J.P.A. van den Ban (LUW);
- ing. J.M.M. Bouwmans (LD);

- dr.ir. H.A.R. de Bruin (KNMI);
- dr.ir. T.A. Buishand (KNMI);
- dr.ir. L.F. Ernst (ICW);
- ir. J.M. Geraerds (LD);
- ing. G. van Gijssel (LNO);
- ing. W.Th. ten Haaf (ICW/LD);
- ing. G.J.E. Hartman (LD);
- ir. A.J. Hellings (ICW);
- ir. P.C. Jansen (ICW);
- ir. C.R. Jurgens (LUW);
- ir. H.M.A. Kempen (LD);
- ir. P.J. Kusse (LD);
- ir. B. Lammers (LD);
- ing. H.W. Lammers (CAD Bodem, Water en Bemesting in de Veehouderij);
- ir. H.A.J. van Lanen (StiBoka);
- ing. Th.J. Linthorst (ICW);
- drs. L.J. Locht (ICW);
- ir. G.J.A. Nieuwenhuis (ICW);
- ing. E. van Rees Vellinga (ICW);
- ir. C.B.H. Schneider (CAD Bodem, Water en Bemesting in de Veehouderij);
- G.A. van Soesbergen (Stiboka);
- dr.ir. Ph.Th. Stol (ICW);
- Technisch Adviesbureau Unie van Waterschappen;
- ing. C. Verhoeven (LNO);
- drs. J. Vreke (ICW);
- Werkgroep Natuurtechniek;
- Werkgroep Technische Vraagbaak Plattelandswegen;
- dr.ir. J. Wesseling (ICW);
- ing. J.G.S. de Wilde (ICW);
- ing. K.E. Wit (ICW).

Het typewerk is grotendeels verzorgd door het Tekstverwerkingscentrum van de Landinrichtingsdienst te Utrecht.

Het tekenwerk is in opdracht van de Landinrichtingsdienst verzorgd door de Grontmij te De Bilt.

Aan de redactionele verwerking hebben medewerking verleend:

ing. W.J. Bouman, LD;

ing. A.J. Gelok, LD;

ing. I.B.M. Schuitemaker, LD.

De eindredactie is verzorgd door ing. G.J. Grotentraast, LD.

Een bijzonder woord van dank is verschuldigd aan de directies van de diensten, instellingen en instituten die hun medewerkers in de gelegenheid hebben gesteld in enigerlei vorm een bijdrage te leveren aan de realisering van dit Vademecum. Met name de medewerking van de zijde van de Landinrichtingsdienst mag in dit verband niet onvermeld blijven.

Namens de Werkgroep Herziening
Cultuurtechnisch vademecum,

G.J. Grotentraast.

INHOUD

Deel I. Algemeen

1.	Algemeen	blz. 3
1.1.	Lettertakens en cijfers	3
1.1.1.	Griekse lettertekens	3
1.1.2.	Romeinse cijfers	3
1.2.	Het internationale stelsel van eenheden (SI)	4
1.2.1.	Algemeen	4
1.2.2.	Grootheden, erkende SI-eenheden en SI-voorvoegsels	6
1.2.3.	Eenheden die niet tot het SI behoren, maar blijvend erkend zijn	10
1.2.4.	Herleiding van oude eenheden tot SI-eenheden	10
1.2.5.	Schrijf- en zetwijze van grootheden, eenheden en getallen	17
1.3.	Afkorting van enkele diensten, organisaties, instellingen e.d. voor zover van belang voor cultuurtechnici	21
2.	Wiskunde	25
2.1.	Symbolen en tekens in de wiskunde	25
2.2.	Algebra en rekenkunde	28
2.2.1.	Machten	28
2.2.2.	Wortels	28
2.2.3.	Logaritmen	29
2.2.4.	Merkwaardige produkten en quotiënten	29
2.2.5.	Binomium van Newton	30
2.2.6.	Vergelijkingen	30
2.2.7.	Rijen en reeksen	31
2.2.8.	Relaties en functies	33
2.2.9.	Limieten	35
2.2.10.	Complexe getallen	35
2.2.11.	Afronden en nauwkeurigheid	36
2.3.	Meetkunde	38
2.3.1.	Coördinaten en hoeken	38
2.3.2.	Driehoeken	38
2.3.3.	Omtrekken, oppervlakken en inhouden	40
2.4.	Goniometrie	47
2.4.1.	De zes goniometrische verhoudingen	47
2.4.2.	Formules met één hoek	48
2.4.3.	Herleiding van hoeken naar het eerste kwadrant	48

	blz.
2.4.4. Formules met twee hoeken	49
2.4.5. Formules voor dubbele en halve hoek	50
2.5. Analytische meetkunde	51
2.6. Differentiaal- en integraalrekening	53
2.6.1. Gronddifferentiaal-quotiënten	53
2.6.2. Integraalrekening	54
 3. Statistiek	 55
3.1. Verzamelingen	55
3.2. Combinatie-rekening	56
3.3. Begrippen uit de statistiek	57
3.3.1. Stochastische variabele	57
3.3.2. Kansverdelingen	57
3.3.3. Populatie	58
3.3.4. Steekproef	58
3.3.5. Uitkomstenruimte	59
3.3.6. Gebeurtenis	59
3.4. Kansrekening	60
3.4.1. Algemene opmerkingen	60
3.4.2. Voorwaardelijke kansen	61
3.4.3. De produktregel	61
3.4.4. De somregel	61
3.4.5. Produkt- en somregel gecombineerd	62
3.5. Beschrijvende statistiek	63
3.5.1. Karakteristieke waarden	63
3.5.2. Rekenkundig gemiddelde	63
3.5.3. Meetkundig gemiddelde	63
3.5.4. Harmonisch gemiddelde	64
3.5.5. Gewogen gemiddelde	64
3.5.6. Mediaan	64
3.5.7. Modus	64
3.5.8. Spreidingsbreedte	65
3.5.9. Standaardafwijking	65
3.5.10. Histogrammen	65
3.6. Populatie en steekproef	67
3.7. Regressie- en correlatierekening	68
3.7.1. Twee variabelen bij lineaire regressie	68
3.7.2. Twee variabelen en hun correlatie	69
3.7.3. Varianties van schatters van regressiecoëfficiënten	69
3.8. Kansverdelingen	71
3.8.1. Discrete verdelingen	71
3.8.2. Continue verdelingen	72

	blz.
3.8.3. Steekproefverdelingen	77
3.9. Toepassingen	79
3.9.1. Histogrammen	79
3.9.2. Kansschalen	79
3.9.3. Voorbeeld van gebruik	79
3.9.4. A-selecte getallen	82
3.9.5. Binomiale verdeling	82
3.9.6. Intervalschattingen	84
3.9.7. Toetsen van hypothesen	85
3.9.8. Numeriek voorbeeld	86
3.9.9. Chi-kwadraat toets	86
3.9.10 Voorbeeld	86
3.10. Literatuur	88
4. Economie	89
4.1. Projecteconomie	89
4.1.1. Afschrijving/waardevermindering	90
4.1.2. Afvloeiing en toetreding	92
4.1.3. Baten	92
4.1.4. Bedrijfsgrootte	93
4.1.5. Consumentensurplus	94
4.1.6. Contante waarde	94
4.1.7. Conversiefactor	95
4.1.8. Effectenanalyse	95
4.1.9. Elasticiteit	97
4.1.10. Evaluatiemethode	97
4.1.11. Externe effecten	98
4.1.12. Inflatie en indexcijfers	98
4.1.13. Inkomen	100
4.1.14. Interne rentevoet	102
4.1.15. Investeren	103
4.1.16. Investeringsselectie	103
4.1.17. Investeringseffect	103
4.1.18. Investeringsstrappenmethode	104
4.1.19. Kosten	106
4.1.20. Kosten-batenanalyse	106
4.1.21. Kostenverdeling	106
4.1.22. Lineaire programmering	107
4.1.23. Marginale produktiviteit	107
4.1.24. Multi-criteria-analyse	108
4.1.25. Multiplier	109
4.1.26. Nut	110
4.1.27. Optimale grootte	110
4.1.28. Potentieel effect	110
4.1.29. Produktiefunctie	111

	blz.
4.1.30. Prognose	111
4.1.31. Projecteconomie	112
4.1.32. Rekenprijzen	112
4.1.33. Standaardbedrijfseenheden	112
4.1.34. Toegevoegde waarde	112
4.1.35. Literatuur	113
4.2. Econometrie	114
4.2.1. Plaatsbepaling econometrie	114
4.2.2. Het gebruik van modellen	115
4.2.3. Optimaliseringsmodellen	118
4.2.4. Het schatten van regressievergelijkingen	123
4.2.5. Literatuur	130
 5. Remote sensing	 131
5.1. Inleiding	131
5.2. Elektromagnetische straling	131
5.2.1. Algemeen	131
5.2.2. Stralingsbronnen	132
5.2.3. Invloed van de atmosfeer op de EM-straling	133
5.2.4. Reflectie en emissie van EM-straling door objecten	134
5.3. Principe van RS	135
5.3.1. Algemeen	135
5.3.2. Platforms	136
5.3.3. Sensoren	137
5.4. RS-opnametechnieken	137
5.4.1. Fotografische luchtopname technieken	137
5.4.2. Elektronische RS-technieken	138
5.4.3. Verschillen tussen fotografische en elektronische opnamen	142
5.5. Interpretatie van RS-opnamen	142
5.5.1. Algemeen	142
5.5.2. Technische hulpmiddelen bij de interpretatie	143
5.6. Toepasbaarheid van RS	144
5.6.1. Algemeen	144
5.6.2. Toepassingsgebieden van de verschillende RS-technieken	145
5.7. Algemene informatie en literatuur	147
5.7.1. Verklaring van veel gebruikte termen en afkortingen in de RS	147
5.7.2. Literatuur	150
5.7.3. Adressen	151

Deel II. Bodem

	blz.
1. Algemeen	155
1.1. Basisbegrippen	155
1.2. Bodemgebruik	157
2. Bodemkundige indeling	160
2.1. Inleiding	160
2.2. Korrelgrootteklassen	160
2.2.1. Algemeen	160
2.2.2. Indeling volgens de Stichting voor Bodemkartering	161
2.2.3. Indeling volgens de Rijks Geologische Dienst (RGD)	161
2.2.4. Indeling volgens de Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders (RIJP)	162
2.2.5. Indeling volgens het Bedrijfslaboratorium voor Grond- en Gewasonderzoek	162
2.2.6. Overzicht van de korrelgrootteklassen van Stichting voor Bodemkartering, Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders en Rijks Geologische Dienst	162
2.2.7. Grenzen van korrelgrootteklassen	162
2.3. Korrelgrootteverdeling	164
2.3.1. Textuurindeling van de Stichting voor Bodemkartering	164
2.3.2. Indeling naar korrelgrootte volgens de Rijks Geologische Dienst	168
2.3.3. Grondsoortenindeling van de Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders	170
2.4. Overige indelingen bij de Stichting voor Bodemkartering	171
2.4.1. Organische stof	171
2.4.2. Kalkverloop	174
2.4.3. Profielverloop	175
2.4.4. Grondwatertrappen	177
2.4.5. Horizontbenamingen	180
2.4.6. Structuur	182
2.5. Bodemclassificatie en legenda	188
2.5.1. Terminologie	200
2.6. Geologische indelingen	204
2.6.1. Algemene geologische tijdtabel	204
2.6.2. Indeling en formaties uit het Kwartair	205
2.6.3. Indeling van de Westland Formatie	206
2.7. Literatuur	207

3.	Bodemgeschiktheid (interpretatie systeem Stiboka)	blz. 209
3.1.	Inleiding	209
3.2.	Becoordelingsfactoren	210
3.2.1.	Ontwateringstoestand	212
3.2.2.	Vochtleverend vermogen	212
3.2.3.	Verticale waterbeweging	213
3.2.4.	Infiltratiesnelheid	213
3.2.5.	Stevigheid van de bovengrond	214
3.2.6.	Verkruimelbaarheid	215
3.2.7.	Slempgevoeligheid	216
3.2.8.	Stuifgevoeligheid	217
3.2.9.	Voedingstoestand	218
3.2.10.	Zuurgraad	221
3.3.	De geschiktheid van gronden	222
3.3.1.	De geschiktheid van gronden voor akkerbouw	222
3.3.2.	De geschiktheid van gronden voor weidebouw	224
3.3.3.	De geschiktheid van gronden voor bosbouw	226
3.4.	Literatuur	228
4.	Bodemtechniek	231
4.1.	Inleiding	231
4.2.	Algemene begrippen, eenheden en symbolen	231
4.3.	Ophoging en zetting	235
4.3.1.	Grond-, water- en korrelspanning	235
4.3.2.	Berekening van zetting volgens Terzaghi	236
4.3.3.	Berekening van zetting volgens Koppejan	237
4.3.4.	Berekening van netto-ophoging	240
4.3.5.	Berekening van zetting bij veen volgens Fokkens	241
4.3.6.	Literatuur	243
4.4.	Zakking van maaiveld als gevolg van ontwatering	244
4.4.1.	Zakkingscomponenten	244
4.4.2.	Fysische rijping van kleigronden	244
4.4.3.	Het zakkingsproces bij veengronden	249
4.4.4.	Literatuur	257
4.5.	Verandering van reliëf	259
4.5.1.	Algemeen	259
4.5.2.	Waterhuishouding en egalisatiebehoefte	261
4.5.3.	Reliëf en detailontwatering	263
4.5.4.	Bepaling van maaiveldshoogte bij egalisatie	264
4.5.5.	Bepaling van hoeveelheid grondverzet en transportafstand	265
4.5.6.	Methode van egalisatie	265
4.5.7.	Kosten en baten	265

	blz.
4.5.8. Literatuur	266
4.6. Profielverbetering	267
4.6.1. Algemeen	267
4.6.2. Bewortelingsdiepte	267
4.6.3. Profielverbetering van plaatgronden	270
4.6.4. Profielverbetering van veenkoloniale gronden	273
4.6.5. Profielverbetering van veldpodzolgronden	275
4.6.6. Profielverbetering van droogtegevoelige veengronden	277
4.6.7. Profielverbetering van zware kleigronden	277
4.6.8. Profielverbetering van droogtegevoelige zandgronden met een ondiepe goed vochthoudende laag	278
4.6.9. Verbetering van de doorlatendheid	278
4.6.10. Werktuigen voor profielverbetering	279
4.6.11. Literatuur	279
4.7. Draagkracht van graslandgronden	281
4.7.1. Algemeen	281
4.7.2. Indringingsweerstand	281
4.7.3. Dichtheid van de zodelaag	282
4.7.4. Invloeden op dichtheid	284
4.7.5. Vochtspanning en ontwateringsdiepte	284
4.7.6. Verbetering van draagkracht	285
4.7.7. Literatuur	288
4.8. Bodemverdichting	289
4.8.1. Algemeen	289
4.8.2. Gronddruk en bandspanning	289
4.8.3. Drukverdeling in de bodem	290
4.8.4. Verdichting door trilling	291
4.8.5. Opheffing van verdichting	291
4.8.6. Literatuur	293
 5. Bemestingsaspecten	 294
5.1. Algemeen	294
5.1.1. Adsorptiecomplex	294
5.1.2. Verplaatsing anionen	294
5.2. Organische stof	294
5.2.1. Bepaling van het organische-stofgehalte van de grond	294
5.2.2. Organische-stofgehalte van de bouwvoor	295
5.2.3. Humificatie van organische stof	295
5.2.4. Verhoging organische-stofgehalte bouwvoor	295
5.2.5. Afbraak organische stof in de bouwvoor	296
5.2.6. Organische stofaanvoer	296
5.2.7. Blijvend grasland	297
5.2.8. C/N-quotiënt van bouwvoor en produkten	297

	blz.
5.3. Zuurgraad van de grond	298
5.3.1. Algemeen	298
5.3.2. Zand- en veenkoloniale grond	299
5.3.3. Klei, zavel en löss	300
5.3.4. Grasland op alle grondsoorten	302
5.4. Stikstof	303
5.5. Fosfaat	303
5.6. Kali	304
5.6.1. Bouwland	304
5.6.2. Grasland	305
5.7. Magnesium	306
5.7.1. Bouwland	306
5.7.2. Grasland	306
5.8. Natrium	306
5.9. Toepassing van sporenelementen-meststoffen	307
5.10. Onttrekking van voedingsstoffen	308
5.11. Kunstmeststoffen	309
5.12. Dierlijke meststoffen	310
5.13. Literatuur	310

Deel III. Water

1.	Algemeen	blz. 313
1.1.	Inleiding	313
1.1.1.	Voorkomen van water op aarde	313
1.1.2.	Eigenschappen van water	314
1.2.	Basisbegrippen	315
1.3.	De kringloop van het water	316
1.3.1.	Algemene hydrologische kringloop	316
1.3.2.	Agrohydrologische kringloop	317
1.4.	Watergebruik	317
1.4.1.	Land- en tuinbouw	317
1.4.2.	Drink- en industriewatervoorziening	318
1.4.3.	Overig gebruik	319
1.4.4.	Waterbalans van Nederland	319
1.5.	Beheer van het water	321
1.6.	Literatuur	322
2.	Neerslag en verdamping	323
2.1.	Waarnemingsstations KNMI	323
2.2.	Neerslag	327
2.2.1.	Begrippen	327
2.2.2.	Meting van de neerslag	327
	– <i>Fouten bij neerslagmetingen</i>	329
2.2.3.	Verdeling van de neerslag naar plaats en in de tijd	330
2.3.	Verdamping	332
2.3.1.	Begrippen	332
2.3.2.	Bepaling van de verdamping (algemeen)	337
	– <i>Inleiding</i>	337
	– <i>Lysimeters</i>	337
	– <i>Waterbalans</i>	337
	– <i>De eddy-correlatiemethode</i>	338
	– <i>De profielmethode</i>	338
	– <i>De energiebalansmethode</i>	338
	– <i>Combinatiemethoden</i>	339
2.3.3.	Nettostraling en bodemwarmtestroomdichtheid	340
	– <i>De nettostraling, Q^*</i>	340
	– <i>De warmte-opslagterm G</i>	345
2.3.4.	Verdamping van een vrij wateroppervlak	346
	– <i>De Penman-formule</i>	346
	– <i>De Priestley-Taylor-formule</i>	349

	blz.
2.3.5. Verdamping van een landoppervlak	349
– Inleiding	349
– Verdamping van een nat landoppervlak; interceptie, (E_i)	350
– Verdamping van een droog gewas, transpiratie, (E_t)	351
– Verdamping van kale grond (E_g)	352
2.3.6. Berekening van de door het K.N.M.I. verstrekte verdampingscijfers	353
– Berekening op basis van de Penman-formule (E_o^{MOW})	353
– Berekening op basis van de Makkink-formule (E_r)	354
2.3.7. Potentiële verdamping (evapotranspiratie), (E_p)	355
– Inleiding	355
– Verdampingspan	355
– De potentiële verdamping volgens de Penman-Monteith-vergelijking	356
– De potentiële verdamping volgens de gewasfactormethode	356
– Enkele opmerkingen met betrekking tot het concept "potentiële verdamping"	359
2.3.8. Verdeling van E_o^{MOW} naar plaats en in de tijd	360
2.4. Neerslagtekort en neerslag overschot	362
2.4.1. Begrippen	362
2.4.2. Verdeling van het neerslagoverschot (-tekort) naar plaats en in de tijd	362
2.5. Frequentieverdelingen en procentpunten van de neerslag, verdamping en neerslagoverschot (-tekort)	363
2.5.1. Begrippen	364
2.5.2. Frequentieverdeling en procentpunten van neerslagsommen	365
2.5.3. Frequentieverdeling en procentpunten van de potentiële verdamping	367
2.5.4. Frequentieverdeling en procentpunten van het potentiële neerslagoverschot	368
2.5.5. Het gebruik van frequentieverdelingen van cumulatieve sommen	370
– Bepaling van de frequentieverdeling van cumulatieve neerslagoverschotten	370
– Verloop van het cumulatieve potentiële neerslagoverschot in het zomerhalfjaar	370
– Vereffening van de basisgegevens	374
2.5.6. Karakterisering van de droogtegraad	375
2.6. Extreme neerslaghoeveelheden	377
2.6.1. Inleiding	377
2.6.2. Extreme neerslaghoeveelheden voor lange tijdsintervallen	378
2.6.3. Neerslagintensiteit bij korte tijdsintervallen	380
2.6.4. Gebiedsgemiddelden van extreme neerslaghoeveelheden	382
2.7. Tabellen	384
2.7.1. Historische reeksen	384
2.7.2. Normaalwaarden neerslag en verdamping	387
2.7.3. Decadegegevens van enkele stations (vanaf 1971)	389
2.7.4. Frequentieverdeling neerslag, verdamping, neerslagoverschot (-tekort) van een aantal waarnemingsreeksen	411
2.8. Literatuur	417

	blz.
3. Stroming van water in de grond	421
3.1. Stroming van water in de verzadigde zone	421
3.1.1. Algemeen	421
3.1.2. Enkele geohydrologische begrippen	422
3.1.3. Geohydrologische indeling van het profiel	424
– Watervoerend(e) pakket(ten)	424
– Scheidende lagen	424
– De hydrologische basis	425
– Het afdekkend pakket	425
3.1.4. Geohydrologie en topografie	428
– Polders	428
– Zandgebieden	428
3.1.5. Grondwatermodellen	430
– Fysische schaalmodellen	431
– Analoge modellen	431
– Wiskundige modellen	431
3.1.6. Veel gebruikte rekenmethoden	432
– Eenvoudige numerieke benadering	432
– Numerieke modellen	434
3.1.7. Literatuur	441
3.2. Stroming van water in de onverzadigde zone	443
3.2.1. Begrippen	443
3.2.2. Bodemvocht (bodemwater)	448
3.2.3. Potentiaaltheorie	450
– Evenwichtsprofiel	450
3.2.4. Bodemwaterkarakteristiek (pF-curve)	452
– Algemeen	452
– Standaard-vochtkarakteristieken	455
– Staringreeks	456
– Bergingscoëfficiënt	460
3.2.5. Onverzadigde doorlatendheid	462
– Algemeen	462
– Standaard-ondergronden (Rijtema)	463
– Berekening volgens Bloemen	464
– Staringreeks	466
– Kritieke z-afstand (z_k)	468
3.2.6. Waterbalans	468
3.2.7. Stationaire stroming	470
3.2.8. Niet-stationaire stroming	476
3.2.9. Meetmethoden	477
– Bodemvocht	477
– Drukhoogte	479
– Bodemwaterkarakteristieken (pF-curve)	480
– Onverzadigde doorlatendheid ($k(h)$ -relaties)	481
3.2.10. Literatuur	482

	blz.
3.3. Vochtleverantiemodellen	484
3.3.1. Inleiding	484
3.3.2. Ontwikkeling van de rekentechniek	484
3.3.3. Stationaire modellen	488
– <i>model CAPSEV</i>	489
3.3.4. Pseudo-stationaire modellen	492
– <i>model MUST</i>	492
3.3.5. Niet-stationaire modellen	494
– <i>model SWATRE</i>	495
3.3.6. Regionale, gekoppelde modellen	498
3.3.7. Literatuur	499
 4. Waterbeheersing	 501
4.1. Ontwatering	501
4.1.1. Begrippen	501
4.1.2. Doorlatendheidsmetingen	504
– <i>Correlatieve en empirische methoden</i>	505
– <i>Laboratoriummethoden</i>	506
– <i>Veldmethoden</i>	508
– <i>Doorlatendheid van gelaagde profielen</i>	512
4.1.3. Bepaling van drain- en slootafstanden	513
– <i>Formules voor stationaire stroming</i>	513
– <i>Formules voor niet-stationaire stroming</i>	522
– <i>Bepaling drainafstanden op basis van profielkenmerkenn</i>	524
4.1.4. Ontwateringsnormen	525
– <i>Normen voor stationaire afvoer</i>	525
– <i>Ontwateringsbasis</i>	525
– <i>Ontwerp op basis van frequenties</i>	527
– <i>Enkele voorbeelden en toepassingen</i>	528
4.1.5. Drainagevooronderzoek	529
– <i>Algemeen</i>	529
– <i>De indeling in homogene vlakken</i>	529
– <i>De D-waarden</i>	530
– <i>Het aantal doorlatendheidsmetingen per vlak</i>	530
4.1.6. Bepaling draindiameters	532
– <i>De afvoercapaciteit van drainbuizen</i>	532
– <i>De keuze van de beschikbare drukhoogte voor de drainbuis</i>	533
– <i>De maximaal te ontwateren oppervlakte</i>	533
– <i>Toepassing van verschillende diameters in een reeks</i>	534
4.1.7. Drainagematerialen	535
– <i>Buissoorten</i>	535
– <i>Hulpstukken</i>	535
– <i>Omhullingsmaterialen</i>	535
– <i>Materiaalaspecten</i>	538
– <i>Materiaalkeuze</i>	538

	blz.
4.1.8. Drainagecontrole en onderhoud	541
– <i>Controle op nieuw gelegde drainage</i>	541
– <i>Onderhoud van drainage</i>	542
4.1.9. Literatuur	543
4.2. Afwatering	546
4.2.1. Inleiding	546
4.2.2. Begrippen	546
4.2.3. Enkele grootheden van de afwatering	549
– <i>Grootheden voor het ontwerp</i>	549
– <i>De normstelling voor het ontwerp</i>	549
4.2.4. Afvoer- en droogleggingsnormen in de praktijk	550
– <i>Afvoernormen</i>	550
– <i>Droogleggingsnormen</i>	551
– <i>Afvoer en waterdiepte bij verschillende frequenties</i>	553
4.2.5. Modellen ter bepaling van afvoerintensiteiten	556
– <i>Algemeen</i>	556
– <i>Methode De Jager</i>	556
– <i>Methode De Zeeuw-Hellinga</i>	557
– <i>Vergelijking van beide methoden</i>	557
4.2.6. De samenhang tussen het ontwaterings- en het afwateringsstelsel	559
4.2.7. Literatuur	561
4.3. Watervoorziening	562
4.3.1. Inleiding	562
4.3.2. Waterconservering	563
4.3.3. Infiltratie	565
4.3.4. Berekening	568
– <i>Inleiding</i>	568
– <i>Beregeningsinstallatie</i>	569
– <i>Tijdstip van beregenen en grootte van de gift</i>	574
4.3.5. Bevoeiing	577
4.3.6. Literatuur	578
4.4. Effecten van waterbeheersing op de opbrengst	580
4.4.1. Inleiding	580
4.4.2. Potentiële groeisnelheid en potentiële opbrengst of productie	580
– <i>Fotosynthese</i>	580
– <i>Theoretische potentiële productie van een "standaardgewas"</i>	581
– <i>Potentiële productie van een werkelijk gewas</i>	582
– <i>De praktische potentiële productie</i>	583
4.4.3. Effecten van watervoorziening op de opbrengst	584
– <i>Factoren van invloed op de mate van vochttekort</i>	584
4.4.4. Methoden ter bepaling van de effecten van watervoorziening	589
– <i>Proefveld en lysimetergegevens</i>	590
– <i>Fysisch georiënteerde produktiemodellen</i>	596
– <i>Droogteschadematrix</i>	599
4.4.5. Effecten van ontwatering op de opbrengst	601
– <i>Facetten van wateroverlast</i>	601
– <i>Factoren van invloed op de mate van wateroverlast</i>	606

	blz.
4.4.6. Methoden ter bepaling van de ontwateringseffecten	609
– <i>Proefveldonderzoek</i>	609
– <i>Depressiecurven CoGroWa</i>	610
– <i>Modelonderzoek</i>	612
– <i>HELP-tabellen</i>	613
4.4.7. Literatuur	618
 5. Waterkwaliteit	 621
5.1. Samenstelling en kwaliteitsparameters van het water	621
5.1.1. Algemeen	621
5.1.2. Begrippen	621
5.1.3. De atoommassa van een aantal elementen	622
5.1.4. De soortelijke geleiding	622
5.1.5. Het zuurstofgehalte	623
5.1.6. Het stikstofgehalte	624
5.1.7. Het fosforgehalte	625
5.1.8. De hardheid	626
5.1.9. De chemische samenstelling van de neerslag	626
5.1.10. De basisbelasting	627
5.1.11. Uitspoeling van meststoffen	627
5.1.12. Waterzuivering	629
5.1.13. Verzilting	631
5.1.14. De Rijn	632
5.2. Indeling van het water	633
5.2.1. Biologische watertyping	633
– <i>Algemeen</i>	633
– <i>Indeling van wateren</i>	633
5.2.2. Chemische watertyping	634
– <i>Algemeen</i>	634
– <i>Diagrammen</i>	635
5.2.3. Klasse-indeling	638
– <i>Belastingsindex</i>	639
5.3. Waterkwaliteitsnormen	640
5.3.1. Algemeen	640
5.3.2. Basiskwaliteit voor oppervlaktewater	640
5.3.3. Waterkwaliteitsnormen voor de akker- en tuinbouw	642
5.3.4. Drinkwaternormen voor vee	644
5.3.5. Normen voor zwemwater	644
5.4. Literatuur	645

Deel IV. Landinrichting

1.	Landinrichting en Ruimtelijke Ordening	blz. 649
1.1.	Begripsomschrijving	649
1.1.1.	Bestemming, inrichting en beheer	649
1.1.2.	Landinrichting	649
1.1.3.	Ruimtelijke ordening	650
1.1.4.	Sector en facet	650
1.1.5.	Structuurschets en structuurschema	651
1.1.6.	Planologische kernbeslissing	652
1.1.7.	Tweesporigheid	653
1.2.	Historie van de landinrichtingswetgeving	654
1.3.	Het beleid met betrekking tot landinrichting	656
1.3.1.	Relatie landinrichting-ruimtelijke ordening	656
	– <i>Afstemming op nationaal niveau</i>	657
	– <i>Afstemming op provinciaal niveau</i>	658
	– <i>Afstemming op gemeentelijk niveau</i>	658
1.3.2.	Hoofddoelstelling	659
1.3.3.	Doelstellingen	659
1.3.4.	Hoofdpijnen van beleid	660
1.3.5.	Beleidskaart	661
1.3.6.	Inrichtingsfactoren	663
1.4.	Enkele hoofdzaken uit de Landinrichtingswet 1985	663
1.5.	Literatuur	673
2.	Openluchtrecreatie	674
2.1.	Planning van recreatievoorzieningen bij de voorbereiding van landinrichtingsprojecten	674
2.1.1.	Algemeen	674
	– <i>Evaluatieberekeningen als onderdeel van de HELP-procedure</i>	675
2.1.2.	Berekening van normatieve recreatiedruk	675
2.1.3.	Opstellen van prognose van recreatief gebruik	678
2.1.4.	Bepaling van capaciteit van recreatievoorzieningen	679
2.1.5.	Literatuur	680
3.	Natuurtechniek	682
3.1.	Inleiding	682
3.2.	Begrippen en definities	683

	blz.
3.3. Ecologische achtergronden van de natuurtechniek	688
3.3.1. Algemeen	688
3.3.2. Het landschap als ecosysteem	689
3.3.3. Successie en beheer	692
3.3.4. Hydrologische aspecten van inrichting en beheer	695
3.3.5. Landschapsstructuur en fauna	697
– <i>De habitatfunctie</i>	697
– <i>De verbredingsfunctie</i>	698
3.4. Planningsaspecten van de natuurtechniek	700
3.4.1. Algemeen	700
3.4.2. Planfase	701
– <i>Initiatief</i>	702
– <i>Inventarisatie</i>	702
– <i>Planvorming</i>	703
3.4.3. Uitvoeringsfase	704
3.4.4. Beheersfase	705
3.4.5. Evaluatiefase	705
3.5. Natuurbouw in de praktijk: uitgangspunten en uitvoering	706
3.5.1. Uitgangspunten	706
– <i>Algemeen</i>	706
– <i>Abiotische uitgangspunten</i>	706
– <i>Biotische uitgangspunten</i>	708
3.5.2. Uitvoering	709
– <i>Natuurbouw bij wegebouw</i>	709
– <i>Natuurbouw bij waterbouw</i>	711
3.6. Literatuur	712
 4. Informatie ten behoeve van landinrichtingsplannen	 716
4.1. Technisch informatiesysteem landinrichting (TINFOL)	716
4.2. Cultuurtechnische inventarisatie (CI)	718
4.2.1. Begrippen	718
4.2.2. Beschrijving van het systeem	720
4.2.3. Toepassingen	721
4.2.4. Verkavelingskenmerken	721
4.2.5. Literatuur	722
 5. Evaluatie van landinrichtingsplannen	 723
5.1. Evaluatie van landinrichtingsplannen volgens de HELP-methode	723
5.1.1. Begripsomschrijvingen	723
5.1.2. Doel van evaluatie	725
5.1.3. Ontstaansgeschiedenis van de HELP-methode	727
5.1.4. Inbouw van de evaluatie in de planvoorbereiding	729

	blz.
5.1.5. Uitgangspunten van de HELP-methode	729
5.1.6. De in beschouwing te nemen effecten	731
5.1.7. Veranderingen in de gesteldheid van water, bodem en lucht	732
5.1.8. Economische effecten	735
– <i>Berekening van de effecten voor de landbouw en de onderhoudskosten van wegen en waterlopen</i>	735
– <i>Berekening van de interne rentevoet</i>	738
– <i>Voorbeeldberekening van de economische effecten voor weidebedrijven</i>	745
5.1.9. Sociale effecten	749
5.1.10. Effecten op de natuur	751
5.1.11. Effecten op het landschap	752
5.1.12. Literatuur	753
5.2. Evaluatie volgens de methode AGREVAL	755
5.2.1. Doel en aard van het programma AGREVAL	755
5.2.2. De benodigde invoergegevens	757
5.2.3. De uitvoergegevens	758
5.2.4. Literatuur	758

Deel V. Ontwerp en uitvoering

1.	Waterbouw	blz. 761
1.1.	Ontwerpen van beheersingsplannen	761
1.1.1.	Algemene begrippen	761
1.1.2.	Benodigde basisinformatie voor het ontwerpen van waterbeheersingsplannen	767
	– <i>Overzicht van benodigde basisgegevens</i>	768
	– <i>Hoofdstructuren van waterbeheersingsplannen</i>	768
	– <i>Plankaart</i>	769
	– <i>Uitgangspunten voor ontwerp-debieten</i>	772
	– <i>Afvoernormenkaart</i>	774
	– <i>Peilenkaart</i>	774
1.1.3.	Stromingstypen en stromingsclassificatie in open waterlopen	775
	– <i>Laminaire en turbulente stroming</i>	776
	– <i>Stromend en schietend water</i>	776
	– <i>Stationaire, niet-stationaire, eenparige en niet-eenparige stroming</i>	777
1.1.4.	Berekening afmetingen waterlopen	779
	– <i>Berekening bij eenparige stroming</i>	779
	– <i>Ontwerp-afvoer respectievelijk aanvoer</i>	779
	– <i>De natte oppervlakte A, de hydraulische straal R en de bodembreedte-waterdiepte-verhouding van het dwarsprofiel</i>	783
	– <i>De wandruwheid k_M</i>	785
	– <i>Het verhang S en verval z</i>	789
	– <i>Toelaatbare stroomsnelheden</i>	790
	– <i>Berekening van de verhanglijn bij niet-eenparige stroming</i>	792
	– <i>Ontwerpprocedure waterlopen met Q_n (N.W.), Q_h (H.W.) en Q_m (M.W.)</i>	794
1.1.5.	Bijzondere aandachtspunten ontwerp waterlopen	798
	– <i>Minimum waterloopafmetingen</i>	798
	– <i>Uitmonding van een kleine waterloop in een grote</i>	798
	– <i>Ontwerp hoofdwaterloop voor een gemaal met één pomp</i>	799
	– <i>Riooloverstorten en afvoeren van verharde oppervlakten</i>	799
	– <i>Windinvloed</i>	800
	– <i>Maatregelen ten behoeve van de waterkwaliteit</i>	802
	– <i>Beheer van een waterlopenstelsel</i>	802
1.1.6.	Berekening afmetingen duikers, bruggen en onderleiders	803
	– <i>Berekeningsmethode duikers, bruggen, onderleiders en hevels</i>	803
	– <i>Debiet Q</i>	808
	– <i>Weerstandscoefficiënt μ</i>	808
	– <i>Intreeweerstand ξ_i</i>	808
	– <i>Wrijvingsverlies ξ_w</i>	809
	– <i>Uittreeverlies ξ_u</i>	811
	– <i>Bocht- en knikverliezen ξ_b en ξ_k</i>	811
	– <i>Natte oppervlakte A</i>	812

	blz.
1.1.7. Berekening afmetingen stuwen	813
– Indeling van stuwen	813
– Afvoerformules voor lange, scherpe en korte rechthoekige overlaten	814
– Volkomen en onvolkomen overlaten	818
– Formules voor het dimensioneren van stuwen in de ontwerp-praktijk	820
– Automatische stuwen	823
– Ontwerpen van een stuw in relatie met de bovenstroomse waterloop	825
1.1.8. Berekeningstechnieken	827
– Berekening stationaire stroming met behulp van het programma DIWA	828
– Berekening niet-stationaire stroming met behulp van het programma HYDRA	830
1.1.9. Literatuur	833
1.2. Gemalen	837
1.2.1. Algemeen	837
– Doel	837
– Terminologie	837
– Plaatskeuze	839
1.2.2. Keuze vijzelgemaal of pompgemaal	839
1.2.3. Vijzelgemalen	840
– Definities en begrippen	840
– Vijzelkarakteristieken	841
– Verstelbare opleider	842
– Ontwerp en berekeningen	842
1.2.4. Pompgemalen	846
– Definities en begrippen	846
– Onderverdeling pomptypen	846
– Opstelling van de pomp in het gemaal	848
– Hydraulische verliezen	852
1.2.5. Capaciteit	857
– Capaciteitsbepaling	857
– Capaciteitsverdeling	857
1.2.6. Opvoerhoogte	858
1.2.7. Aandrijving	858
1.2.8. BWO: Wet bescherming waterstaatswerken in oorlogstijd	859
1.2.9. Bediening	859
1.2.10. Prefab-gemalen	860
1.2.11. Ontwerpberekeningen	863
1.2.12. Garantiebepalingen en beproeving	866
1.2.13. Krooshekreinigers	866
– Algemeen	866
– Typen krooshekreinigers	866
– Korte omschrijving van de werking	867
– Automatisering	870
– Samenvatting	871
1.3. Stuwen in waterbeheersingsplannen	872
1.3.1. Onderverdeling van stuwen naar functie	872
– Technische stuw	872
– Landbouwkundige stuw	873
– Meetstuwen	873

	blz.
1.3.2. Onderverdeling van stuwen naar kruinvorm	875
– <i>De lange overlaat</i>	875
– <i>De scherpe overlaat</i>	876
– <i>De korte overlaat</i>	876
1.3.3. Indeling van de meest voorkomende typen stuwen naar constructietype	877
– <i>Vaste stuwen</i>	877
– <i>Regelbare stuwen</i>	878
– <i>Bijzondere stuwen</i>	882
1.3.4. Automatiseren van stuwen	886
1.3.5. Woelbal	888
1.3.6. Storte- en ontvangbed	891
1.3.7. Keuze stuwbreedte	892

2. Wegen en Verkeer 893

2.1. Beleidskader voor plattelandswegen	893
2.2. Verkeersonderzoek en normering	896
2.2.1. Inleiding	896
2.2.2. Verkeersonderzoek	897
– <i>Mechanische verkeerstelling</i>	897
– <i>Visuele verkeerstelling</i>	897
– <i>Kentekenwaarnemingen</i>	898
– <i>Weg-enquête</i>	898
– <i>Snelheidsmeting</i>	898
2.2.3. Normen	899
– <i>Capaciteit van plattelandswegen</i>	899
– <i>Verkeersafwikkeling</i>	901
– <i>Geluidhinder</i>	905
– <i>Aanleg van fietspaden</i>	905
2.3. Wegontwerp (geometrie)	907
2.3.1. Inleiding	907
– <i>De weg als onderdeel van een integraal plan</i>	907
– <i>Afmetingen en gewicht voertuigen</i>	907
– <i>Rijgedrag</i>	908
– <i>Vorm en functies van plattelandswegen</i>	908
– <i>Ontwerpsnelheden</i>	909
2.3.2. RONA	909
– <i>De categorisering van plattelandswegen</i>	909
– <i>Verband tussen RONA-categorisering en de indeling plattelandswegen</i>	911
2.3.3. Alignement	911
– <i>Zichtafstand</i>	911
– <i>Rechtstanden</i>	915
– <i>Hellingen</i>	915
– <i>Afrondingsstralen</i>	915
– <i>Bogen en overgangsbogen</i>	916
– <i>Verkanting</i>	917

	blz.
2.3.4. Dwarsprofiel	919
– <i>Normaal-dwarsprofielen</i>	919
– <i>Ruimte voor kabels en leidingen</i>	922
– <i>Ruimte voor beplantingen</i>	922
– <i>Afwatering en ontwatering</i>	924
– <i>Bochtverbreding</i>	925
– <i>Plaatselijke verbredingen</i>	927
2.3.5. Aansluitingen en kruisingen	929
– <i>Eisen te stellen aan aansluitingen en kruisingen</i>	929
– <i>Soorten aansluitingen en kruisingen</i>	930
– <i>Voorrangsregelingen</i>	935
2.3.6. Uitzicht	935
– <i>Uitzicht bij dammen en uitritten</i>	935
– <i>Uitzicht in horizontale bogen</i>	935
– <i>Uitzicht in verticale bogen</i>	935
– <i>Uitzicht bij spoorwegovergangen</i>	935
2.4. Aankleding van de weg	936
2.4.1. Inleiding	936
2.4.2. Voorzieningen	937
– <i>Voorzieningen op of in het wegdek</i>	937
– <i>Voorzieningen naast het wegdek</i>	937
2.5. Bruggen en duikers	940
2.5.1. Brug of duiker	940
2.5.2. Duikers	940
– <i>Materialen ten behoeve van duikers</i>	940
– <i>Afmetingen van duikers</i>	941
– <i>Constructieve aspecten van duikers</i>	941
– <i>Fundering duikers</i>	949
2.5.3. Bruggen	955
– <i>Definities</i>	955
– <i>Materialen ten behoeve van bruggen</i>	956
– <i>Afmetingen van bruggen</i>	956
– <i>Constructieve aspecten van bruggen</i>	958
– <i>Fundering van bruggen</i>	968
2.6. Bijzondere onderwerpen	971
2.6.1. Fietspaden	971
– <i>Inleiding</i>	971
– <i>Indeling van fietspaden</i>	973
– <i>De breedte van fietspaden</i>	975
– <i>Het rijcomfort en de verharding op fietspaden</i>	977
– <i>Constructies van fietspaden</i>	979
– <i>Fietsers op plattelandswegen</i>	981
2.6.2. Afsluiting van plattelandswegen voor motorvoertuigen	981
2.6.3. Voetpaden	981
2.6.4. Ruiterpaden	982
2.6.5. Parkeerterreinen ten behoeve van recreatieve doeleinden	982
2.6.6. Wegen met overwegend recreatief gebruik	986

	blz.
2.7. Dimensionering van verhardingsconstructies	987
2.7.1. Inleiding	987
2.7.2. De verkeersbelasting	987
2.7.3. Draagkracht van de ondergrond	991
– <i>Inleiding</i>	991
– <i>Veldcodering van grondsoorten</i>	994
2.7.4. Restwaarde van verhardingsconstructies	1001
2.7.5. Ontwerpmethoden	1003
2.7.6. Materialen en constructies	1016
– <i>Materialen voor funderingen</i>	1017
– <i>Materialen voor verhardingen</i>	1019
2.8. Onderzoeksmethoden	1025
2.8.1. Onderzoek aan aardebaan, zandbed en fundering	1025
– <i>Zeeanalyse</i>	1025
– <i>Dichtheid van aardebaan- of funderingsmateriaal in situ</i>	1025
– <i>Draagvermogen van aardebaan- of funderingsmateriaal</i>	1027
2.8.2. Onderzoek aan verhardingsconstructies	1028
2.8.3. Onderzoek aan wegebouwmaterialen	1030
2.9. Verklaring van gebruikte afkortingen en literatuur	1031
2.9.1. Lijst van in de technische vraagbaak veel voorkomende afkortingen	1031
2.9.2. Literatuur	1032
 3. Bestekken, begrotingen en produktienormen grondwerk	 1034
3.1. Bestekken	1034
3.1.1. Begripsomschrijvingen	1034
3.1.2. Regelingen tussen opdrachtgever en adviseur en tussen opdrachtgever en aannemer	1035
3.1.3. Wat is een bestek?	1039
3.1.4. RAW-bestekken en andere standaardbestekken	1041
– <i>Aanleiding tot oprichting van de Stichting RAW</i>	1041
– <i>Doelstelling van de Stichting RAW, oprichting Stichting C.R. O.W.</i>	1042
– <i>Andere standaardbestekken en coördinatie</i>	1042
– <i>Uitgangspunten RAW-systematiek</i>	1044
– <i>Catalogus met resultaatsbeschrijvingen</i>	1045
– <i>Het samenstellen van een RAW-bestek en andere staten</i>	1046
– <i>Administratieve en technische standaardbepalingen</i>	1053
3.1.5. De algemene voorwaarden voor de uitvoering van werken 1968 (AVW 1968)	1055
3.1.6. De Uniforme Administratieve Voorwaarden voor de uitvoering van werken (UAV)	1055
3.1.7. Literatuur	1056

	blz.
3.2. Begrotingen ten behoeve van landinrichtingsprojecten	1058
3.2.1. Inleiding	1058
3.2.2. Begripsomschrijvingen	1058
3.2.3. Waarom worden begrotingen opgesteld?	1065
3.2.4. Rubricering van kosten	1067
3.2.5. Hoe worden kosten bepaald?	1068
3.2.6. Hulpmiddelen bij het opstellen van begrotingen	1070
– <i>Begrotingsformulieren en checklisten</i>	1070
– <i>Computerprogramma's</i>	1070
– <i>Keuzelijst landinrichting</i>	1070
– <i>Standaardeenheidsprijzen</i>	1072
3.2.7. Literatuur	1077
3.3. Produktienormen voor grondbewerking en grondverzet	1078
3.3.1. Inleiding	1078
3.3.2. Produktienormen grondbewerking	1079
3.3.3. Produktienormen grondverzet	1080
3.3.4. Literatuur	1085

Deel I

ALGEMEEN

	Blz.
1. Algemeen	3
2. Wiskunde	25
3. Statistiek	55
4. Economie	89
5. Remote sensing	131

1. Algemeen

1.1. Lettertekens en cijfers

1.1.1. Griekse lettertekens

Het hieronder vermelde alfabet geeft eenvoudige en duidelijke tekens voor de Griekse letters, voor toepassing als symbolen in drukwerk.

Tabel 1.1.1. Het Griekse alfabet.

alfa	A	α	nu	N	ν
beta	B	β	xi (ksi)	Ξ	ξ
gamma	Γ	γ	omikron	O	o
delta	Δ	δ	pi	Π	π
èpsilon	E	ϵ	rhô	P	ρ, ϱ
zêta	Z	ζ	sigma	Σ	σ
êta	H	η	tau	T	τ
thêta	Θ	θ	upsilon	Y	υ
iôta	I	ι	fî	Φ	φ
kappa	K	κ	chi	X	χ
la(m)bda	Λ	λ	psi	Ψ	ψ
mu	M	μ	omega	Ω, ω	ω

1.1.2. Romeinse cijfers

Tabel 1.1.2. Romeinse cijfers.

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
XX	XXX	XL	L	LX	LXX	LXXX	XC	IC	C
20	30	40	50	60	70	80	90	99	100
CC	CCC	CD	D of I	DC	DCC	DCCC	CM	XM	M of CI
200	300	400	500	600	700	800	900	990	1000

1.2. Het internationale stelsel van eenheden (SI)

1.2.1. Algemeen

In deze paragraaf zijn de voor dit vademecum belangrijkste zaken uit het SI-stelsel opgenomen. Weergegeven zijn een overzicht van de erkende meeteenheden en enige praktische en theoretische informatie.

Uitgebreide informatie is te vinden in de volgende bronnen:

- NEN 999 *Het Internationale Stelsel van Eenheden (SI)* met een volledige beschrijving van het Internationale Stelsel, inclusief de wetenschappelijke basis ervan. Deze norm is in overeenstemming met de internationale norm ISO 31.
- NEN 1000 *Regels voor het hanteren van het Internationale Stelsel van eenheden* met een volledig overzicht van vervallen, tijdelijk toegelaten en blijvend toegelaten eenheden (niet-SI), met herleidingsfactoren.
- NEN 1225 en NEN 1226 *Grootheden, SI-eenheden en hun symbolen*.
- NEN 2955 *Gegevensverwerking*; aanduiding van SI en andere eenheden voor inpassing in apparatuur met een beperkt aantal tekens.
- NEN 3049 *Herleiding van eenheden tot SI-eenheden* met een overzicht van ongeveer vijfhonderd herleidingsfactoren.
- NEN 3069 *Grootheden, eenheden en getallen. Schrijf en zetwijzen*.

Deze NEN-normen zijn verkrijgbaar bij het Nederland Normalisatie Instituut (NNI) te Rijswijk.

- Le Système International d'unités (SI), brochure van het Bureau International des Poids et Mesures.
- EEG richtlijn (80/181/EEG) inzake de meeteenheden. Publikatieblad van de EEG nr. L 39, 15 februari 1980.

In een groot aantal boeken en brochures is gepoogd het SI toegankelijk te maken voor gebruik. Enkel daarvan zijn geraadpleegd bij het samenstellen van deze paragraaf.

- *Bijker, Dorst, Heese en Van Rooy*
SI-eenheid voor eenheid. Staatsuitgeverij, 's-Gravenhage 1979.
- *Schurer en Rigg*
Grootheden en eenheden in de landbouw en de biologie. Pudoc, Wageningen, 1980.
- *Dienst van het IJkwezen*
Grootheden en meeteenheden, SI, eenheid in eenheden, Delft, 1983.
- *Anonymus*
Het internationale Stelsel van Eenheden (SI). In: Handboek voor de Rundveehouderij. Proefstation voor de Rundveehouderij, Lelystad, 1981.

Voordat het metrieke stelsel werd ingevoerd, heerste er op het gebied van eenheden een complete chaos. Tot 1 januari 1978 bestonden er nog twee belangrijke eenhedenstelsels: het Angelsaksische stelsel met eenheden als mijl, pond en graad Fahrenheit, en het metrieke stelsel met onder andere kilometer, kilogram en graad Celsius.

Het uitgangspunt voor regelingen op het gebied van eenheden is in vrijwel alle landen thans het Internationale Stelsel van Eenheden, volgens internationale afspraak aangeduid als SI. Het SI is in 1960 als uitbreiding en vervolmaking van het Metrieke Stelsel vastgesteld door de 11e Conférence Générale des Poids et Mesures (CPGM, de algemene vergadering van bij de Meterconventie aangesloten landen). Het stelsel omvat grondeenheden, aanvullende eenheden en afgeleide eenheden, die samen een coherent stelsel vormen, alsmede voorvoegsels voor de vorming van decimale veelvouden en delen.

Dit stelsel heeft twee belangrijke eigenschappen.

- a. de SI-eenheden zijn coherent, dat wil zeggen dat er tussen de eenheden onderling een zeer eenvoudig verband bestaat, waarin geen getallen voorkomen;
- b. het is een decimaal stelsel, net als ons metrieke stelsel. Dat houdt in dat van de desbetreffende eenheid decimale veelvouden en decimale delen kunnen worden gevormd met een decimaal voorvoegsel.

Men kent in het SI grootheden en eenheden. Met kan grootheden van dezelfde soort met elkaar vergelijken in die zin dat door meting hun verhouding bepaald kan worden. Algemeen geldt:

$$\text{grootheid} = \text{getalwaarde} \times \text{eenheid}$$

hierbij is:

grootheid: iets dat men direct of indirect kan meten

eenheid: maat waarmee men de grootheid meet

getalwaarde: getal dat aangeeft hoeveel maal de eenheid op de grootheid is begrepen

Voorbeeld: de lengte van die schuur is vijftientwintig meter ($l = 25 \text{ m}$)

In de Europese Gemeenschappen is in 1979 een nieuwe richtlijn inzake de meeteenheden aangenomen (80/181/EEG). De richtlijn is op het SI gebaseerd. Om praktische redenen zijn echter ook een aantal niet tot het SI behorende eenheden blijvend of tijdelijk erkend. De bepalingen van de richtlijnen dienen in de nationale wetgevingen van de aangesloten landen te worden opgenomen. In Nederland wordt voor het economische verkeer hieraan gevolg gegeven door middel van de bepalingen in de IJkwet en het daarbij behorende Eenhedenbesluit 1981.

Een verbod op het gebruik van niet erkende eenheden is opgenomen in artikel 5 van de IJkwet 1937. Dit artikel, voor zover hier van belang, luidt sinds 1 januari 1978:

Artikel 5

1. Het is verboden in de uitoefening van een beroep of bedrijf bij het vragen, het aanbieden of het leveren van goederen en diensten:
 - a. een grootheid uit de drukken in een andere dan erkende meeteenheid, indien voor die grootheid een erkende meeteenheid geldt, ...;
2. Onze minister van Economische Zaken kan vrijstelling verlenen van het bepaalde in het eerste lid.'

Het eerste lid van artikel 5 houdt in, dat in beginsel in het gehele economische verkeer geen andere dan wettige eenheden mogen worden gebruikt. Het gaat hier niet alleen om goederen en diensten zelf, maar ook om bijbehorende documenten, zoals offertes, prijsopgaven, facturen, handleidingen, polissen en dergelijke en om reclame via folders en publiciteitsmedia.

Op grond van het tweede lid van artikel 5 zijn bij ministeriële beschikking een aantal vrijstellingen gegeven. Deze houden in dat onder andere in de volgende gevallen niet-erkende eenheden mogen worden gebruikt:

- in de zeevaart, de luchtvaart of het spoorwegverkeer, één en ander volgens internationale overeenkomsten;
- in het internationale goederen of dienstenverkeer (dit houdt in dat in het verkeer tussen fabrikant en importeur de nodige ruimte in een eenhedengebruik is gegeven; zodra de importeur zich evenwel op de Nederlandse markt gaat begeven, moeten wettige eenheden worden gebruikt);
- als eenheden worden gebruikt naast de overeenkomstige aanduiding in erkende grootheden, voor zover de aanduiding in erkende eenheden overheerst;
- op goederen en in bijbehorende documenten en reclame voor zover vervaardigd voordat de betreffende eenheden hun wettelijke erkenning verloren;
- op goederen (en in bijbehorende documenten en reclame) die in ongewijzigde doorlopende serieproductie worden vervaardigd sedert een tijdstip waarop de betreffende eenheden hun wettelijke erkenning nog niet verloren hadden.

Hoewel niet wettelijk verplicht, wordt een genormaliseerd gebruik van groothedenamen en symbolen sterk aanbevolen.

1.2.2. Grootheden, erkende SI-eenheden en SI-voorvoegsels

Het SI bestaat uit 7 grondeenheden voor 7 basisgrootheden, 2 aanvullende eenheden, afgeleide SI-eenheden en een aantal voorvoegsels voor het vormen van decimale veelvouden en delen van SI-eenheden.

De basisgrootheden zijn zo gekozen dat ze als onafhankelijk van elkaar kunnen worden beschouwd. De grondeenheden zijn door een definitie gebonden aan een natuurlijke of kunstmatige standaard of aan een model.

Basisgrootheden en grondeenheden

Tabel 1.2.1. Basisgrootheden, grondeenheden, gronddimensies en hun symbolen.

Basisgrootheid		Grondeenheid		Gronddimensie
naam	symbool	naam	symbool	
lengte	l, s	meter	m	L
massa	m	kilogram	kg	M
tijd	t	seconde	s	T
elektrische stroom	I	ampère	A	I
thermodynamische temperatuur	T	kelvin	K	Θ
hoeveelheid stof	n	mol	mol	N
lichtsterkte	I, I_v	candela	cd	J

Aanvullende grootheden en eenheden

Tabel 1.2.2. Aanvullende grootheden en eenheden en hun symbolen

Aanvullende grootheid		Aanvullende eenheid	
naam	symbool	naam	symbool
(vlakke)hoek	α, β	radiaal	rad
ruimtehoek	Ω, ω	steradiaal	sr

Afgeleide SI-eenheden

De afgeleide SI-eenheden zijn eenheden die op coherente wijze zijn afgeleid van de SI-grondeenheden en de aanvullende SI-eenheden. Deze eenheden worden gegeven in de vorm van machtsprodukten van de SI-grondeenheden en de aanvullende SI-eenheden met een getalfactor gelijk aan 1 (de getalfactor 1 is het kenmerk van een *coherent* stelsel). Voorbeelden zijn weergegeven in tabel 1.2.3.

Tabel 1.2.3. Afgeleide eenheden en hun symbolen.

Grootheid		SI-eenheid	
naam	symbool	naam	symbool
oppervlakte	A	vierkante meter	m^2
inhoud	V	kubieke meter	m^3
snelheid	v, u	meter per seconde	m/s of $m \cdot s^{-1}$
versnelling	a	meter per secondekwadraat	m/s^2 of $m \cdot s^{-2}$
hoeksnelheid	ω	radiaal per seconde	rad/s of $rad \cdot s^{-1}$
repetentie	σ	(één per meter)	m^{-1}
volume massa,			
dichtheid	ρ	kilogram per kubieke meter	kg/m^3 of $kg \cdot m^{-3}$
massaconcentratie	q	kilogram per kubieke meter	kg/m^3 of $kg \cdot m^{-3}$
molaire concentratie	c	mol per kubieke meter	mol/m^3 of $mol \cdot m^{-3}$
stroomdichtheid	J	ampère per vierkante meter	A/m^2 of $A \cdot m^{-2}$
luminantie	L	candela per vierkante meter	cd/m^2 of $cd \cdot m^{-2}$

Afgeleide SI-eenheden met een eigen naam

Een aantal afgeleide SI-eenheden hebben een eigen naam en symbool. Deze zijn weergegeven in tabel 1.2.4.

Tabel 1.2.4. Afgeleide eenheden met een eigen naam en hun symbolen

Grootheid		SI-eenheid		
naam	symbool	naam	symbool	afleiding
frequentie	ν, f	hertz	Hz	s^{-1}
kracht	F	newton	N	$kg \cdot m \cdot s^{-2}$
druk, spanning	p	pascal	Pa	$N \cdot m^{-2} = kg \cdot m^{-1} \cdot s^{-2}$
energie, arbeid				
hoeveelheid warmte	E, W, Q	joule	J	$N \cdot m = kg \cdot m^2 \cdot s^{-2}$
vermogen	P	watt	W	$J \cdot s^{-1} = kg \cdot m^2 \cdot s^{-3}$
elektrische lading	Q	coulomb	C	$A \cdot s$
elektrische spanning	U, V	volt	V	$W \cdot A^{-1} = kg \cdot m^2 \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}$
elektrische capaciteit	C	farad	F	$C \cdot V^{-1} = kg^{-1} \cdot m^{-2} \cdot s^4 \cdot A^2$
elektrische weerstand	R	ohm	Ω	$V \cdot A^{-1} = kg \cdot m^2 \cdot s^{-3} \cdot A^{-2}$
elektrische geleiding	G	siemens	S	$\Omega^{-1} = kg^{-1} \cdot m^{-2} \cdot s^3 \cdot A^2$
magnetische flux	ϕ	weber	Wb	$V \cdot s = kg \cdot m^2 \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$
magnetische inductie	B	tesla	T	$Wb \cdot m^{-2} = kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$
inductantie	L	henry	H	$Wb \cdot A^{-1} = kg \cdot m^2 \cdot s^{-2} \cdot A^{-2}$
lichtstroom	ϕ_v	lumen	lm	$cd \cdot sr$
verlichtingssterkte	E_v	lux	lx	$lm \cdot m^{-2} = cd \cdot sr \cdot m^{-2}$
activiteit	A	becquerel	Bq	s^{-1}
geabsorbeerde dosis	D	gray	Gy	$J \cdot kg^{-1} = m^2 \cdot s^{-2}$
dosisequivalent	H	sievert	Sv	$J \cdot kg^{-1} = m^2 \cdot s^{-2}$

Door combinatie van de afgeleide SI-eenheden met een eigen naam met de grondeenheden en aanvullende eenheden worden weer afgeleide SI-eenheden gevormd. Voorbeelden staan in tabel 1.2.5.

Tabel 1.2.5. Afgeleide eenheden ontstaan uit combinaties.

Grootheid		SI-eenheid	
naam	symbool	naam	symbool
moment van een kracht	M	newton meter	$\text{N} \cdot \text{m}$
oppervlaktespanning	σ	newton per meter	$\text{N} \cdot \text{m}^{-1}$
soortelijke warmte	c	joule per kilogram	
		Kelvin	$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
thermische geleiding	λ	watt per meter Kelvin	$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
elektrische veldsterkte	E	volt per meter	$\text{V} \cdot \text{m}^{-1}$
molaire energie	U, E	joule per mol	$\text{J} \cdot \text{mol}^{-1}$
dynamische viscositeit	η	pascal seconde	$\text{Pa} \cdot \text{s}$

SI-voorvoegsels

Tabel 1.2.6. De voorvoegsels voor het vormen van decimale veelvouden en delen van SI-eenheden.

Voorvoegsel	Symbool	Factor	Voorvoegsel	Symbool	Factor
exa	E	10^{18}	deci	d	10^{-1}
peta	P	10^{15}	centi	c	10^{-2}
tera	T	10^{12}	milli	m	10^{-3}
giga	G	10^9	micro	μ	10^{-6}
mega	M	10^6	nano	n	10^{-9}
kilo	k	10^3	pico	p	10^{-12}
hecto	h	10^2	femto	f	10^{-15}
deca	da	10	atto	a	10^{-18}

Symbolen van voorvoegsels worden zonder spatie vóór de symbolen van de eenheden geplaatst. Combinaties van voorvoegsels mogen niet worden gebruikt. Voor 10^7 joule schrijft men 10 MJ en *niet* 1 daMJ.

Bij machten van symbolen voor eenheden deelt het voorvoegsel mee in de machtsverheffing: $\text{cm}^2 = (10^{-2} \text{ m}) = 10^{-4} \text{ m}^2$ en *niet* 10^{-2} m^2 .

Veelvouden en delen van de grondeenheid kilogram worden gevormd door uit te gaan van het gram (= 10^{-3} kg). Dus 10^{-6} kg = 1 mg en *niet* 1 μ kg.

Teneinde verwarring te voorkomen met dit SI-voorvoegsel, heeft de CGPM in 1967 het voordien toegestande gebruik van 'micron' met symbool μ voor 10^{-6} afgewezen.

Een SI-voorvoegsel in combinatie met een eenheid wordt als één woord geschreven, bijvoorbeeld millimeter, megawatt.

1.2.3. Eenheden die niet tot het SI behoren, maar blijvend erkend zijn

Tabel 1.2.7. Eenheden die niet tot het SI behoren, maar blijvend erkend zijn

Grootheid		Eenheid	
	naam	symbool	waarde
oppervlakte van landerijen	are ¹⁾ 2)	a	1 a = 100 m ²
	volume, inhoud, liter ¹⁾	l of L	1 l = 1 dm ³ = 10 ⁻³ m ³
	massa	t	1 t = 10 ³ kg
vlakke hoek	ton ¹⁾		1 t = 10 ³ kg
	graad	°	1° = $\pi/180$ rad
	(boog)minuut	'	1' = $\pi/10\,800$ rad
	(boog)seconde	''	1'' = $\pi/648\,000$ rad
tijd	decimale graad of gon ¹⁾ 3)	gon	1 gon = $\pi/200$ rad
	minuut	min	1 min = 60 s
	uur	h	1 h = 3.600 s
	dag	d	1 d = 86.400 s
druk	bar ¹⁾ 4)	bar	1 bar = 10 ⁵ Pa
	millimeter kwik ⁵⁾	mmHg	1 mmHg = 133,322 Pa

¹⁾ Van deze eenheid mogen decimale veelvouden en delen worden gevormd.
²⁾ 100 are wordt aangeduid met hectare (ha).
³⁾ 1 gon is het 1/100 gedeelte van een rechte hoek.
⁴⁾ De toepassing van de bar is internationaal nog in discussie. De Nederlandse norm NEN 1000, Regels voor het hanteren van het Internationale Stelsel van Eenheden (SI), noemt voor het toepassingsgebied van de bar alleen de druk van gasen en vloeistoffen.
⁵⁾ Uitsluitend ter aanduiding van fysiologische druk (bloeddruk, oogdruk, enz.).

1.2.4. Herleiding van oude eenheden tot SI-eenheden

Herleiding van eenheden tot SI-eenheden, ingedeeld naar grootheid

Tabel 1.2.8. Herleiding van eenheden tot SI-eenheden, ingedeeld naar grootheid

Grootheid	Niet-SI-eenheid	Vervangende SI-eenheid
lengte	micron, μ , μ	micrometer, μ m (1 μ = 1 μ m)
	millimicron, m μ	nanometer, nm (1 m μ = 1 nm)
	angström, Å	nanometer, nm (1 Å = 0,1 nm)
	inch, in, '' (Engelse duim)	millimeter, mm (1 in = 25,4 mm) of centimeter, cm (1 in = 2,54 cm)
	foot, ft ' (Engelse voet)	centimeter, cm (1 ft = 30,48 cm)
	yard, yd	meter, m (1 yd = 0,9144 m)
	mile (Engelse mijl)	kilometer, km (1 mile = 1,609 km)

Vervolg tabel 1.2.8.

Grootheid	Niet-SI-eenheid	Vervangende SI-eenheid
volume, inhoud	cc	kubieke centimeter, cm^3 (1 cc = 1 cm^3)
	fluid ounce, fl oz (UK)	kubieke centimeter, cm^3 (1 fl oz = 28,41 cm^3)
	pint, pt	liter*, l* (1 pt = 0,5683 l)
	gallon, gal (UK)	liter*, l* (1 gal (UK) = 4,546 l)
	gallon, gal (US)	liter*, l* (1 gal (US) = 3,785 l)
frequentie	toeren per minuut, tpm, rpm	hertz, Hz, per minuut*, min^{-1} * (1000 tpm = 1000/60 Hz = 16,67 Hz)
toerental		
massa	pond	kilogram, kg (1 pond = ½ kg)
	ons	gram, g (1 ons = 100 g)
	ounce, oz	gram, g (1 oz = 28,35 g)
	troy ounce (edele metalen!)	gram, g (1 troy ounce = 31,10 g)
	pound, lb (Engelse pond)	kilogram, kg (1 lb = 0,4536 kg)
kracht	kilogramkracht, kgf, (kilopond, kp)	newton, N (1 kgf = 9,806 65 N)
	dyne, dyn	micronewton, μN (1 dyn = 10 μN)
	poundforce, lbf	newton, N (1 lbf = 4,448 22 N)
druk	kilogramkracht per vierkante centimeter, kgf/cm^2 , atmosfeer, at	kilopascal, kPa, bar* (1 kgf/cm^2 = 1 at = 98,0665 kPa = 0,980 665 bar)
	millimeter kwikkolom, mmHg, (Torr)	kilopascal, kPa, bar* (1 mmHg = 0,133 322 kPa = 1,333 22 mbar)
	meter waterkolom, mH_2O , (mWK, MWS)	kilopascal, kPa, bar* 1 mH_2O = 9,806 65 kPa = 98,0665 mbar)
	dyne per vierkante centimeter, dyn/cm^2	pascal, Pa, mbar* (1 dyn/cm^2 = 0,1 Pa = 1 μbar)
	normale atmosfeer, atm	kilopascal, kPa, bar* (1 atm = 101,325 kPa = 1,013 25 bar)
	poundforce per square inch, lbf/in^2 , (psi, pond)	kilopascal, kPa, bar* (1 lbf/in^2 = 6,894 76 kPa = 68,9476 mbar)
	bar	kilopascal, kPa (1 bar = 100 kPa)
	millibar, mbar	kilopascal, kPa (1 mbar = 0,1 kPa)
energie	calorie, cal	joule, J (1 cal = 4,1868 J)
	kilocalorie, kcal	kilojoule, kJ (1 kcal = 4,1868 kJ)
	kilogramkracht, centimeter, $\text{kgf}\cdot\text{cm}$	joule, J (1 $\text{kgf}\cdot\text{cm}$ = 0,098 0665 J)
	erg (dyne centimeter, $\text{dyn}\cdot\text{cm}$)	microjoule, μJ (1 erg = 0,1 μJ)
	British thermal unit, Btu	kilojoule, kJ (1 Btu = 1,055 06 kJ)
vermogen	calorie per seconde cal/s	watt, W (1 cal/s = 4,1868 W)
	kilocalorie per uur, kcal/h	kilowatt, kW (1000 kcal/h = 1,163 kW)
	meter kilogramkracht per seconde, $\text{m}\cdot\text{kgf}/\text{s}$	watt, W (1 $\text{m}\cdot\text{kgf}/\text{s}$ = 9,806 65 W)
	paardekracht, pk, (PK, CV, PS)	kilowatt, kW (1 pk = 0,735 498 75 kW)
	horsepower, hp	kilowatt, kW (1 hp = 0,7457 kW)
	erg per seconde, erg/s	microwatt, μW (1 erg/s = 0,1 μW)

Vervolg tabel 1.2.8.

Grootheid	Niet-SI-eenheid	Vervangende SI-eenheid
temperatuur	graad Fahrenheit, °F	graad Celcius, °C (1 °F = 5/9 °C, 32 °F = 0 °C)
verlichtings-sterkte	footcandle, ft candle	lux, lx (1 ft candle = 10,76 lx)

* Geen SI-eenheid, wel blijvend erkend.

Uitgebreide informatie over de herleiding van eenheden tot SI-eenheden is verzameld in de Nederlandse Norm NEN 3049.

Herleiding van eenheden naar SI-eenheden, alfabetisch

Tabel 1.2.9. Tabel van herleidingsfactoren (alfabetisch).

A		
a	=	atto, SI-voorvoegsel = 10^{-18}
1 a	=	1 are = $(10\text{ m})^2 = 100\text{ m}^2$
1 a	=	1 (tropisch) jaar $\approx 365,242\text{ d} \approx 31,5569 \times 10^6\text{ s}$ $1\text{ a}^{-1} \approx 31,6888 \times 10^{-9}\text{ s}^{-1}$
1 acre	=	4 rood $\approx 4046,86\text{ m}^2$
1 at	=	1 technische atmosfeer = $1\text{ kgf/cm}^2 = 98,0665 \times 10^3\text{ Pa}$
1 atm	=	1 normale atmosfeer = $101,325 \times 10^3\text{ Pa}$
B		
1 bar	=	$10^6\text{ dyn/cm}^2 = 10^5\text{ Pa}$
bbl	=	barrel $1\text{ dry bbl (US)} = 7056\text{ in}^3 \approx 0,115\text{ 627 m}^3$ $1\text{ oil bbl (US)} = 42\text{ USgal} \approx 0,158\text{ 987 m}^3$ $1\text{ oil bbl/d} \approx 1,840\text{ 13} \times 10^{-6}\text{ m}^3/\text{s}$
bu	=	bushel $1\text{ internationale bushel voor granen} = 60\text{ lb} \approx 27,2155\text{ kg}$ $1\text{ UKbu} = 8\text{ UKgal} \approx 36,3687 \times 10^{-3}\text{ m}^3$ $1\text{ USbu} = 2150,42\text{ in}^3 \approx 35,2391 \times 10^{-3}\text{ m}^3$
1 bunder	=	1 ha = 10^4 m^2
C		
c	=	centi, SI-voorvoegsel = 10^{-2}
c	=	cubic = kubieke, zie ft^3 , in^3 , yd^3
C	=	coulomb, afgeleide SI-eenheid van elektrische lading = $\text{A} \cdot \text{S}$
° C	=	graad Celsius temperatuurverschil: $1^\circ\text{C} = 1\text{ K}$ temperatuurniveau: $x\text{ }^\circ\text{C} = (x + 273,15)\text{K}$

Vervolg tabel 1.2.9.

1 ca	= 1 centiare = 0,01 a = 1 m ²
cal	= calorie, zie ook: kcal
	1 cal = 4,1868 J
	1 Cal (voedingsleer) = 1 kcal ₁₅ ≈ 4,1855 × 10 ³ J
cb	= cubic = kubieke, zie ft ³ , in ³ , yd ³
1 cc	= 1 cm ³ = 10 ⁻⁶ m ³
cd	= candela, grondeenheid van het SI van lichtsterkte
1 cm	= 1 centimeter = 10 ⁻² m
cu	= cubic = kubieke, zie ft ³ , in ³ , yd ³
cwt	= hundredweight
	1 UKcwt = 112 lb ≈ 50,8023 kg
	1 UScwt = 100 lb ≈ 45,3592 kg
	1 long (of 'gross') hundredweight = 112 lb ≈ 50,8023 kg
	1 sh cwt = 1 short (of 'nett') hundredweight = 100 lb = 45,3592 kg

D

d	= deci, SI-voorvoegsel = 10 ⁻¹
1 d	= 1 dag = 24 h = 86,4 × 10 ³ s
	1 d ⁻¹ ≈ 11,5741 × 10 ⁻⁶ s ⁻¹
da	= deca, SI-voorvoegsel = 10
dB	= decibel, 'eenheid' gebruikt bij dimensieloze grootheid
duim	= inch, zie: in
1 dyn	= 1 dyne = 1 g · cm/s ² = 10 ⁻⁵ N
	1 dyn/cm = 10 ⁻³ N/m
	1 dyn/cm ² = 0,1 Pa

E

E	= exa, SI-voorvoegsel = 10 ¹⁸
1 erg	= 1 dyn · cm = 10 ⁻⁷ J

F

f	= femto, SI-voorvoegsel = 10 ⁻¹⁸
F	= farad, afgeleide SI-eenheid van capaciteit = C/V
1 F	= 1 faraday ≈ 96,4846 × 10 ³ C
° F	= graad Fahrenheit
	temperatuurverschil: 1 °F = (5/9)K ≈ 0,555 556 K
	temperatuurniveau: x °F = (5/9)(x - 32)°C = (5/9)(x + 459,67)K
ft	= foot
	1 ft = 1 foot = (1/3)yd = 0,3048 m

G

1 g	= 1 gram = 10 ⁻³ kg
G	= giga, SI-voorvoegsel = 10 ⁹
gal	= gallon
	1 UKgal ≈ 4,546 09 × 10 ⁻³ m ³
	1 USgal = 231 in ³ ≈ 3,785 41 × 10 ⁻³ m ³
1 Gal	= 1 gal = 1 cm/s ² = 10 ⁻² N/kg

vervolg tabel 1.2.9.

gcal	= gramcalorie = cal, zie: cal
1 geografi- sche mijl	$\approx 7,409 \cdot 10^3 \text{ m}$
1 gf	= 1 gramkracht = $9,806 \cdot 65 \times 10^{-3} \text{ N}$
graad	zie: °C, °F, °R
1 grd	= 1 graad = 1 K
H	
h	= hecto, SI-voorvoegsel = 10^2
1 h	= 1 uur = 60 min = $3,6 \times 10^3 \text{ s}$
	1 h ⁻¹ = $0,277 \cdot 778 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$
1 ha	= 1 ha = 100 a = 10^4 m^2
1 hl	= 1 hectoliter = 0,1 m ³
hp	= horse power
	1 hp = 550 ft·lbf/s $\approx 745,700 \text{ W}$
	1 metric hp = 1 pk $\approx 735,499 \text{ W}$
hundred	
weight	zie: cwt
Hz	= hertz, afgeleide SI-eenheid van frequentie = s ⁻¹
I	
imp	= imperial = UK, zie bijbehorende eenheid
in	= inch
	1 in = (1/12) ft = $25,4 \times 10^{-3} \text{ m}$
J	
j	= jour = dag, zie: d
J	= joule, afgeleide SI-eenheid van arbeid en energie = N·m
jaar	zie: a
K	
k	= kilo, SI-voorvoegsel = 10^3
K	= Kelvin, grondeenheid van het SI van thermodynamische temperatuur
1 kcal	= 1 kilocalorie = $4,1868 \times 10^3 \text{ J}$, zie ook: cal
	1 kcal/h = 1,163 W
	1 kcal/min = 69,78 W
kg	= kilogram, grondeenheid van het SI van massa
1 kgf	= 1 kgf = 1 kop = 1 kilogramkracht = $9,806 \cdot 65 \text{ N}$
	1 kgf·h/m ² $\approx 35,3039 \times 10^3 \text{ Pa} \cdot \text{s}$
	1 kgf/cm ² = $98,0665 \times 10^3 \text{ Pa}$
	1 kgf/mm ² = $9,806 \cdot 65 \times 10^6 \text{ Pa}$
1 km/h	= (1/3,6) m/s $\approx 0,277 \cdot 778 \text{ m/s}$
kn	= knot = knoop
	1 kn = 1 zeemijl/h $\approx 0,514 \cdot 444 \text{ m/s}$
1 kWh	= 1 kilowatt uur = $3,6 \times 10^6 \text{ J}$
kwintaal	zie: q

Vervolg tabel 1.2.9.

L	
1 l	= 1 liter = 10^{-3} m^3
lb	= pound 1 lb $\approx$ 0,453 592 kg
liq	= liquid, zie: pt, qt
lm	= lumen, afgeleide SI-eenheid van lichtstroom = $\text{cd} \cdot \text{s}$
long	zie: cwt, ton
lx	= lux, afgeleide SI-eenheid van verlichtingssterkte = $\text{lm} \cdot \text{m}^2$

M	
m	= milli, SI-voorvoegsel = 10^{-3}
m	= meter, grondeenheid van het SI van lengte
M	= mega, SI-voorvoegsel = 10^6
1 mb	= 1 mbar = 100 Pa
metric	= metriek, zie: hp, ton
1 mH ₂ O	= $9,806\ 65 \times 10^3 \text{ Pa}$
mi	= mile 1 (statute) mile = 1760 yd $\approx$ $1,609\ 34 \times 10^3 \text{ m}$ 1 mile/h = 0,447 04 m/s
1 mijl	= 1 milli-inch = $25,4 \times 10^{-6} \text{ m}$
1 mil	= 1 milliliter = 1 ml = 10^{-6} m^3
1 min	= 1 minuut = 60 s 1 min ⁻¹ = (1/60)s ⁻¹ $\approx$ $16,6667 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$
1 mmH ₂ O	= 1 mm waterkolom = 9,806 65 Pa
1 mmHg	= 1 mm kwikkolom = 13,5952 mm H ₂ O $\approx$ 133,322 Pa
mol	= mol, grondeenheid van het SI van hoeveelheid stof
mph	= mile/h, zie: mile
1 mud	= 1 hl = 0,1 m ³
1 mwk	= 1 m waterkolom = 1 mH ₂ O = $9,806\ 65 \times 10^3 \text{ Pa}$
mijl	zie: mile, zeemijl, geografische mijl

N	
n	= nano, SI-voorvoegsel = 10^{-9}
N	= newton, afgeleide SI-eenheid van kracht = $\text{kg} \cdot \text{m/s}^2$
nett	zie: cwt, ton
normale atmosfeer	zie: atm

O	
omw.	= omwenteling
1 ons	= 0,1 kg
oz	= ounce 1 oz = (1/16)lb $\approx$ $28,3495 \times 10^{-3} \text{ kg}$

P	
p	= pico, SI-voorvoegsel = 10^{-12}
P	= peta, SI-voorvoegsel = 10^{15}

Vervolg tabel 1.2.9.

Pa	= pascal, afgeleide SI-eenheid van druk en spanning = N/m^2
penny-weight	zie: dwt
1 pk	= 1 paardekracht = $75 \text{ kgf} \cdot \text{m/s} \approx 735,499 \text{ W}$ 1 pk · h $\approx 2,647 \ 80 \times 10^6 \text{ J}$
1 pond	= 0,5 kg
pund	zie: lb
1 ppm	= 1 part per million = 10^{-6}
1 psi	= 1 pound per square inch $\approx 6,894 \ 76 \times 10^3 \text{ Pa}$
pt	= pint 1 liq pt = $(1/8) \text{ USgal} \approx 0,473 \ 176 \times 10^{-3} \text{ m}^3$
Q	
1 q	= 1 quintal = 1 kwintaal = 100 kg
1 qr	= 1 quarter = 28 lb $\approx 12,7006 \text{ kg}$
1 qr	= 1 quarter 8 UKbu $\approx 0,290 \ 950 \text{ m}^3$
qt	= quart 1 liq qt = $(1/4) \text{ USgal} \approx 0,946 \ 353 \times 10^{-3} \text{ m}^3$
R	
r	= rev = revolution = omwenteling
°R	= graad Réaumur temperatuurverschil: $1^\circ \text{R} = 1,25 \text{ K}$ temperatuurniveau: $x^\circ \text{R} = 1,25x^\circ \text{C} = (1,25x + 273,15) \text{ K}$
rad	= radiaal, aanvullende eenheid van het SI van vlakke hoek
1 rd	= 1 rad
registerton	zie: ton
rev	zie: r
rpm	= rev/min, zie: r
rps	= rev/sec, zie: r
S	
s	= seconde, grondeenheid van het SI van tijd
sh	= short, zie cwt, ton
sq	= square = vierkante
sr	= steradiaal, aanvullende eenheid van het SI van ruimtehoek
T	
1 t	= 1 ton = 1000 kg (zie ook: ton)
T	= tera, SI-voorvoegsel = 10^{12}
technische atmosfeer	zie at
ton	1 t = 1 (metrieke) ton = 1 tonne (UK, US) = 10^3 kg 1 UKton = 1 long (of 'gross') ton (US) = 2240 lb $\approx 1,016 \ 05 \times 10^3 \text{ kg}$ 1 USton = 1 short (of 'nett') ton = 2000 lb $\approx 907,185 \text{ kg}$ 1 registerton $\approx 2,83 \text{ m}^3$
tr	= tour = omwenteling

Vervolg tabel 1.2.9.

U	
1 u	= 1 atomaire massa-eenheid $\approx 1,660\,57 \times 10^{-27}$ kg
uur	zie: h
V	
V	= volt, afgeleide SI-eenheid van elektrische spanning = W/A
voet	zie: ft
W	
1 w	= 1 week = 7 d = $604,8 \times 10^3$ s
	$1\text{ w}^{-1} \approx 1,653\,44 \times 10^{-6}\text{ s}^{-1}$
W	= watt, afgeleide SI-eenheid van vermogen = J/s
1 W h	= watt uur = $3,6 \times 10^3$ J
Y	
1 yd	= 1 yard = 0,9144 m
Z	
1 zeemijl	= 1852 m

1.2.5. Schrijf en zetwijze van grootheden, eenheden en getallen

Normbladen

De NEN 3069 bevat de belangrijkste regels voor het schrijven en het drukken van namen van en symbolen voor fysische grootheden, eenheden en getallen. De norm geldt ook voor het typen, voor zover de schrijfmachine dit toelaat. Voor het weergeven van eenheden in systemen met een beperkt aantal tekens (computer, telex e.d.), zie NEN 2955.

Namen en symbolen

Het verdient aanbeveling in één en dezelfde tekst òf steeds de namen voluit te schrijven òf symbolen te gebruiken voor grootheden, eenheden en getalwaarden.

Grootheden

- De naam van een grootheid begint met een kleine letter, ook als hij is afgeleid van een eigennaam, behalve aan het begin van een zin.
- Bij een produkt van grootheden schrijft men 'maal' of '×', bv. massa × versnelling.
- Bij een quotiënt van grootheden schrijft men 'gedeeld door', 'per' of '/', bijvoorbeeld lengte per tijd.
- Bij macht schrijft men 'tot de': temperatuur tot de vierde.
- Het symbool voor een grootheid is een letter uit het Griekse of Latijnse alfabet. Achter het symbool komt géén punt. Eventueel rechtsonder indices en rechtsboven accenten.
- In drukwerk worden symbolen voor *grootheden cursief* gezet, symbolen voor **vectoren cursief en vet**. Symbolen voor grootheden klein (onderkast) ook in de tekst die overigens in vette druk staat, uitgezonderd de symbolen voor vectoren. Symbolen voor de gronddimensies (L, M, T, I, Θ, N en J) rechtop.

- In handschrift worden symbolen voor scalaire grootheden enkel en die voor vectoriële grootheden dubbel onderstreept.
- Bij getypte tekst zo mogelijk cursieve letter toepassen, vectoren enkel onderstrepen. Is geen cursief lettertype beschikbaar, dan scalaire grootheden enkel en vectoriële grootheden dubbel onderstrepen.
- Produkt van a en b : $a \cdot b$ of $a b$ of ab of $a \times b$
(in schrijfmachineschrift mag de punt wel op de regel staan, bij drukwerk uitsluitend op halve letterhoogte boven de lijn).
- Bij vectoren betekent $\mathbf{a} \cdot \mathbf{b}$ het scalaire produkt en $\mathbf{a} \times \mathbf{b}$ het vectoriële produkt
- Quotiënt van a en b : $\frac{a}{b}$ of a/b of ab^{-1} of $a \cdot b^{-1}$ of $b^{-1} \cdot a$
niet meer dan één schuine streep op dezelfde hoogte, dus

$$\frac{ab/c}{d} \text{ of } \frac{ab}{cd} \text{ en niet } ab/c/d$$

Eenheden

- De naam van een eenheid begint met een kleine letter, ook als hij is afgeleid van een eigennaam, behalve aan het begin van een zin. Uitzondering: graad Celcius.
- Decimale voorvoegsels in combinatie met een eenheid worden aan elkaar geschreven (millimeter).
- Bij een produkt van eenheden schrijft men de namen los van elkaar: newton meter seconde.
- Bij een quotiënt van eenheden schrijft men 'per': de snelheid is 4 meter per seconde.
- Bij een macht van eenheden schrijft men 'tot de': meter tot de derde macht. Bij oppervlakte 'vierkante' voor de naam van de eenheid; bij inhoud 'kubieke' voor de naam van de eenheid.
- Symbolen voor eenheden zijn kleine letters, behalve wanneer het symbool is afgeleid van een eigennaam: dus m (meter), maar N (Newton).
- Achter het symbool komen geen afkortingspunt en geen meervoudsuitgang.
- In drukwerk moeten symbolen voor eenheden en decimale voorvoegsels rechtop worden gezet, ook in overigens cursief gedrukte tekst; voorts klein gedrukt (behalve bij eigennaam) en niet vet, ook al staat de rest van de tekst in hoofdletters of vetgedrukt.
- Bij het produkt van een aantal eenheden gebruikt men het vermenigvuldigingsteken ($\text{N} \cdot \text{m} \cdot \text{s}$), een dunne spatie (N m s) of schrijft men aan elkaar, mits er geen verwarring kan ontstaan. Dus niet Nms, omdat dit kan betekenen newton meter seconde, maar ook newton milliseconde.
- Het quotiënt van een aantal eenheden wordt aangegeven met een schuine deelstreep (kg/m^3), met behulp van een negatieve macht ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$) of met horizontale deelstreep ($\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$).

Niet meer dan één schuine deelstreep op dezelfde hoogte. Bij deling door meer dan één eenheid heeft de horizontale streep de voorkeur. Indien men toch de schuine deelstreep gebruikt, de noemer bij voorkeur tussen haken zetten.

Getallen

- Gehele getallen worden als één woord geschreven (zonder koppelteken) bij:
 - a. de getallen van één tot honderd (achtendertig)
 - b. de getallen van a met honderd erachter (driehonderd)
 - c. de getallen van a en b met duizend erachter (driehonderdduizend).
- In andere gevallen moeten de getallen los van elkaar worden geschreven. Maak geen gebruik van het voegwoord 'en'; dus tweehonderd twintig en niet tweehonderd en twintig.
- Bij breuken worden de namen van teller en noemer los van elkaar geschreven.
- Bij gemengde getallen worden de naam van het gehele getal en die van de breuk gescheiden door het voegwoord 'en': $8 \frac{2}{3} =$ acht en tweederde.
- Symbolen voor getallen steeds rechtop, ook in overigens schuinstaande tekst.
- Als decimaalteken een komma gebruiken, géén punt.
- Bij getallen met veel cijfers, deze verdelen in groepjes van drie, vanaf de komma naar links en rechts, gescheiden door een dunne spatie. Allen bij geldbedragen ter voorkoming van vervalsingen een punt als afscheidingsteken gebruiken.

Indices e.d.

- Aan een symbool, een grootheid kunnen indices of andere tekens worden toegevoegd, bestaande uit één of meer letters, cijfers en wiskundige- of tekensymbolen. Ze worden gewoonlijk rechtsonder het symbool geplaatst in een kleiner lettertype. Indien tevens een teken rechtsboven wordt geplaatst, verdient het in het algemeen voorkeur de beginletters of -cijfers boven elkaar te zetten. In plaats daarvan kan het hooggeplaatste teken buiten haakjes worden gezet, dus:
 - Gebruik als vermenigvuldigingspunt tussen getallen bij voorkeur het teken '×'. Een vermenigvuldigingspunt op halve letterhoogte is toelaatbaar in geval er geen verwarring is te verwachten. Het gebruik van een punt op de lijn dient te worden vermeden.
 - Bij gemengde getallen oppassen; schrijven als $\frac{8}{3}$ of $\frac{8}{3}$ of $2 \frac{2}{3}$, maar niet als $2 \frac{2}{3}$ omdat dan verwarring mogelijk is met $2^{\frac{22}{3}}$ of met 2^2 gedeeld door 3.

Wiskundesymbolen

- Symbolen waarvan de betekenis vrij kan worden gekozen, worden cursief gezet: $f(x)$.
- Symbolen met een vaste betekenis worden rechtop gezet: Δ , $\int$, Σ , $\lim$, $\log$, $\ln$, $\sin$.
- Symbolen voor mathematische constanten worden rechtop gezet: e , π .
- De vermenigvuldigingspunt, de horizontale deelstreep, het minteken en het plusteken worden op halve letterhoogte gezet.
- In schrijfmachineschrift mag de vermenigvuldigingspunt ook op de lijn staan.

Diversen

- Eenheid en bijbehorend getal worden gescheiden door een spatie (3,5 m). Uitzonderingen zijn: $7^{\circ}42'3''$ en $6^h12^m5^s$ en 60°C .
- Bij toelaatbare afwijkingen schrijft men: $200 \pm 2 \text{ m}$.
- Bij het aangeven van een betrouwbaarheidsinval voor meetwaarden schrijft men $200 \text{ m} \pm 2 \text{ m}$ of $(200 \pm 2) \text{ m}$ en $(2 \pm 0,02) \times 10^4 \text{ m}^3$.
- Men schrijft voor plusminus, ongeveer of circa het teken $\approx$ of ca.

- Indien oppervlakten worden gegeven als lengte maal breedte, volgt bij voorkeur na elk der getallen het symbool voor de lengte-eenheid, bijvoorbeeld een stuk van $50\text{ m} \times 75\text{ m}$. Ook mag $50 \times 75\text{ m}^2$. Niet toegestaan is $50 \times 75\text{ m}$. Op dezelfde manier geldt voor inhouden $50\text{ m} \times 75\text{ m} \times 2\text{ m}$ of $50 \times 75 \times 2\text{ m}^3$.
- In grafieken wordt de grootheid aangegeven met een symbool aan de voet van de pijl die de richting van toenemende waarden aangeeft. De eenheid wordt bij voorkeur tussen de laatste twee getalswaarden aan het eind van de as vermeld.
- In tabellen wordt aan het hoofd van een kolom of aan het begin van een rij de naam van of het symbool voor de bijbehorende eenheid gegeven. Ten behoeve van de internationale bruikbaarheid is het aan te bevelen voor de grootheden en eenheden alleen genormaliseerde symbolen te gebruiken.

Computerteksten

De mogelijkheden van computers bij tekstweergave zijn zeer verschillend. In NEN 2955 zijn een aantal symbolen voor computerteksten vastgelegd. Enkele regels zijn de volgende:

- Een getal en een macht van 10 worden door een letter of een spatie gescheiden.
- Voor het decimaalteken wordt meestal de gewone punt (.) gebruikt.
- In tabel 1.2.10 zijn een aantal symbolen voor computerteksten weergegeven.

Tabel 1.2.10. Eenheden en voorvoegsels met afwijkende symbolen bij beperkte keuze.

Naam	Gebruikelijk symbool	Symbool bij één lettertype
ohm	Ω	ohm
siemens	S	sie
decimale graad	s	gon
(boog)graad	$^{\circ}$	deg
(boog)minuut	'	min
(boog)seconde	''	sec
are	a	are
uur	h	hr
jaar	a	ann
ton	t	tne
graad Celcius	$^{\circ}\text{C}$	cel
mega	M	ma
micro	μ	u

Commentaar

Zoals in het begin van deze paragraaf is vastgesteld, is het gebruik van SI-eenheden wettelijk verplicht. Het gebruik van genormaliseerde namen en symbolen voor grootheden is niet verplicht, maar wordt wel sterk aanbevolen. In de praktijk stuit dit op veel problemen en weerstanden. Met name het cursief typen en zetten of onderstrepen van symbolen voor grootheden wordt weinig gedaan.

1.3. Afkortingen van enkele diensten, organisaties, instellingen e.d., voor zover van belang voor cultuurtechnici

ABTB	Aartsdiocessane RK Boeren en Tuindersbond
AID	Algemene Inspectiedienst van het Ministerie van Landbouw en Visserij
AMP	Directie Algemene Zaken, Milieu en Planologie
ANAB	Algemene Nederlandse Agrarische Bedrijfsbond
ASF	Agrarische Sociale Fondsen
ASV	Agrarisch Sociale Voorlichting
AVB	Agrarische en Voedingsbedrijfsbond
AVG	Katholieke bond van personeel in Agrarische Voedings en Genotsmiddelen-bedrijven
BBL	Bureau Beheer Landbouwgronden
BCS	Bosbouw en Cultuurtechnische School
BF	Borgstellingsfonds voor de Landbouw
BOVAL	Bond van Agrarische Loonbedrijven in Nederland
CABO	Centrum voor Agrobiologisch Onderzoek
CAD	Consulentschap in Algemene Dienst
CAR	Consulentschap voor Akkerbouw en de Rundveehouderij
CBI	Consulentschap voor Boerderijbouw en -inrichting
CBS	Centraal Bureau voor de Statistiek
CBTB	Nederlands Christelijke Boeren- en Tuindersbond
CCC	Centrale Cultuurtechnische Commissie (vervallen naam)
CD	Cultuurtechnische Dienst (vervallen naam)
CLA	Consulentschap voor Landbouwwerktuigen en Arbeid
CLC	Centrale Landinrichtingscommissie
CLO	Centrale Landbouw Organisaties
COR	Consulentschap voor de Openlucht-recreatie
CR	Consulentschap voor de Rundveehouderij
CRA	Consulentschap voor de Rundveehouderij en de Akkerbouw
CRM	Ministerie van Cultuur, Recreatie en Maatschappelijk Werk (vervallen ministerie)
C.R.O.W.	Stichting Centrum voor Regelgeving en Onderzoek in de grond, Water en wegebouw en de verkeerstechniek
CT	Consulentschap voor de Tuinbouw
CTB	Stichting Computertoepassing Bouwwezen
CVP	Consulentschap voor de Varkens- en de Pluimveehouderij
DBH	Districtsbureauhouder
DBL	Directie Beheer Landbouwgronden
DIV	Dienst Informatieverwerking Rijkswaterstaat
DGIS	Directoraat Generaal voor Internationale Samenwerking
DLO	Directie Landbouwkundig Onderzoek
ENNAC	Eerste Noord-Hollandse Aannemers Combinatie
ESV	Economisch Sociale Voorlichting
ETI	Economisch Technologisch Instituut
EZ	Ministerie van Economische Zaken
FAO	Food and Agricultural Organisation
	Voedsel en Landbouworganisatie van de Verenigde Naties
FIDIC	Fédération Internationale Des Ingénieurs-Conseils

FNV	Federatie Nederlandse Vakbeweging
FNZ	Koninklijke Nederlandse Zuivelbond
FRS	Fries Rundvee Stamboek
GAB	Gewestelijk Arbeidsbureau
GAK	Gemeenschappelijk Administratiekantoor
GRONTMIJ	Grondverbeterings- en Ontginningsmaatschappij N.V.
GS	Gedeputeerde Staten
HVI	Stichting Houtvoorlichtingsinstituut
IAC	Internationaal Agrarisch Centrum
IB	Instituut voor Bodemvruchtbaarheid
IBR	Stichting Instituut voor Bouwrecht
ICW	Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding
ILG	Instituut voor onderzoek van het Landelijk Gebied
ILRI	International Institute for Land Reclamation and Improvement
IMAG	Instituut voor Mechanisatie, Arbeid en Gebouwen
KEMA	NV tot Keuring van Elektrotechnische Materialen
KIVI	Koninklijk Instituut van Ingenieurs
KIWA	Keurings Instituut voor Waterleiding Artikelen
LTB	Katholieke Land- en Tuinbouwbond
KGvL	Koninklijke Genootschap voor Landbouwwetenschap
KNBB	Katholieke Nederlandse Boerinnenbond
KNBTB	Katholieke Nederlandse Boeren- en Tuindersbond
KNHM	Koninklijke Nederlandse Heidemaatschappij
KNLC	Koninklijk Nederlands Landbouw Comité
KNLG	Koninklijk Nederlands Landbouwkundig Genootschap
KNMI	Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut
KOMO	Stichting voor Onderzoek, Beoordeling en Keuring van Materialen en Constructies
KPJN	Katholieke Plattelands Jongeren Nederland
KVH	Kwaliteitseisen voor hout voor bouwkundige en waterbouwkundige doeleinden
KvK & F	Kamer van Koophandel en Fabrieken
LAGROBO	Landinrichting, Grond en Bosbeheer (vervallen naam)
LD	Landinrichtingsdienst
LEI	Landbouw Economisch Instituut
LGM	Laboratorium voor Grondmechanica
LH	Landbouwhogeschool (vervallen naam)
LU	Landbouw Universiteit
LV	Ministerie van Landbouw en Visserij
NAJK	Nederlands Agrarische Jongeren Kontakt
NAK	Nederlandse Algemene Keuringsdienst voor zaaizaad en pootgoed van Landbouwgewassen
NAKB	Nederlandse Algemene Keuringsdienst voor Boomkwekerijgewassen
NCAB	Nederlandse Christelijke Agrarische Bedrijfsbond
NCB	Noordbrabantse Christelijke Boerenbond
NCBTB	Nederlandse Christelijke Boeren- en Tuindersbond
NCLB	Nederlandse Christelijke Landarbeidersbond
NCPJ	Nederlandse Christelijke Plattelandsjongeren
NILI	Nederlands Instituut van Landbouwkundig Ingenieurs

NIRIA	Nederlands Instituut van Register-Ingenieurs en Afgestudeerden van Hogere Technische Scholen
NIVAG	Nieuwe Vereniging van Aannemers Grootbedrijf
NNI	Stichting Nederlands Normalisatie-Instituut
NRLO	Nationale Raad voor het Landbouwkundig Onderzoek
NRS	Nederlands Rundvee Stamboek
NVWB	Nederlandse Vereniging van Wegenbouwers
O en S fonds	Ontwikkelings- en Saneringsfonds voor de landbouw
ONRI	Orde van Nederlandse Raadgevende Ingenieurs
PAGV	Proefstation voor de Akkerbouw en de Groenteteelt in de Volle Grond
PD	Planteziektenkundige Dienst
PIGN	Plattelands Jongeren Gemeenschap Nederland
PR	Proefstation voor de Rundveehouderij
PPD	Provinciale Planologische Dienst
PS	Provinciale Staten
PUDOC	Centrum voor Landbouwpublicaties en Landbouwdocumentatie
PWS	Provinciale Waterstaat
RAAD	Rijks Agrarische Afvalwater Dienst
RARO	Raad van Advies voor de Ruimtelijke Ordening
RAW	Stichting Rationalisatie en Automatisering Wegenbouw
RID	Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening (vervallen)
RIN	Rijksinstituut voor Natuurbeheer
RIVON	Rijksinstituut voor Veldbiologisch Onderzoek t.b.v. het Natuurbehoud
RIVM	Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiëne
RIZA	Rijksinstituut voor Zuivering van Afvalwater
RPD	Rijks Planologische Dienst
RvA	Raad van Arbeid
	Raad van Arbitrage voor de Bouwbedrijven in Nederland
RvB	Raad van Beroep
RvS	Raad van State
RWL	Rijkswegenlaboratorium
RWS	Rijkswaterstaat
RIJP	Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders
SBB	Staatsbosbeheer
SBL	Stichting Beheer Landbouwgronden
SBR	Stichting Bouwresearch
SBW	Stichting Beroepsopleidingen Weg- en Waterbouw
SEV	Sociaal Economische Voorlichting
SFB	Stichting Sociaal Fonds Bouwnijverheid
SKH	Stichting Keuringsbureau Hout
SOMA	Stichting tot Opleiding van Machinisten voor Aannemersbedrijven
SPO	Vereniging van Samenwerkende Prijsregelende Organisaties in de Bouwnijverheid
StiBoka	Stichting voor Bodemkartering
STULM	Stichting tot Uitvoering van Landbouwmaatregelen
SVB	Stichting Vakopleiding Bouwbedrijf
	Stichting Verletbestrijding Bouwnijverheid
TFDL	Stichting Technische en Fysische Dienst voor de Landbouw
TH	Technische Hogeschool (vervallen)

TNO	Nederlandse Centrale Organisatie voor Toegepast Natuurwetenschappelijk Onderzoek.
TU	Technische Universiteit
VAA	Vereniging van Asfalt Aannemers
VAGWW	Vereniging Aannemers Grond-, Water- en Wegenbouw
VAM	Vuil Afvoer Maatschappij
VBA	Vereniging van Beplantings Aannemers
VBW	Vereniging van Bitumineuze Werken
VEWIN	Vereniging van Exploitanten van Waterleidingbedrijven in Nederland
VNG	Vereniging van Nederlandse Gemeenten
VNO	Verbond van Nederlandse Ondernemingen
VROM	Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer
VW	Ministerie van Verkeer en Waterstaat
WAC	Vereniging Wegenbouw Aannemers Combinatie
WL	Waterloopkundig Laboratorium
WVC	Ministerie van Welzijn, Volksgezondheid en Cultuur
ZNAV	Zuid-Nederlandse Aannemers Vereniging

Voor adressen worden verwezen naar bv.:

- *Adressengids voor de bouwwereld*; uitgeverij Samson, Alphen aan den Rijn
- *Agricultural Science in the Netherlands*; uitgever IAC, Wageningen
- *Agrarisch Adresboek*; uitgeverij Stam, Den Haag
- *Handboek voor de Grond-, Water- en Wegenbouw*, uitgegeven door de Vereniging Aannemers Grond-, Water- en Wegenbouw, Nieuwegein
- *Staatsalmanak*; Staatsuitgeverij, 's-Gravenhage

NB: In deze lijst met afkortingen is niet gestreefd naar volledigheid.

2. Wiskunde *

2.1. Symbolen en tekens in de wiskunde

Teken of symbool	Betekenis	Toepassing
=	is gelijk aan	$a = b$
$\neq$	is niet gelijk aan	$a \neq b$
$\approx$	is ongeveer gelijk aan	$a \approx b$
<	is kleiner dan	$a < b$
>	is groter dan	$a > b$
$\leq$	is kleiner dan of gelijk aan	$a \leq b$
$\geq$	is groter dan of gelijk aan	$a \geq b$
{ }	aanduiding van een verzameling	$V = \{a, b, c\}$
| |	geeft modulus of absolute waarde aan	$|-5| = 5$ en $|5| = 5$
Σ	sigma of somteken	$\sum_{n=1}^4 x^2 = 1^2 + 2^2 + 3^2 + 4^2$
Π	pi of vermenigvuldigingsteken	$\prod_{n=1}^4 a_n = a_1 \times a_2 \times a_3 \times a_4$
!	faculteit	$4! = 1 \times 2 \times 3 \times 4$
∞	oneindig groot	
$\sqrt{}$	wortel (tweedemachtswortel)	$\sqrt{a} = x$, dan $x^2 = a$ met $x > 0$
$\sqrt[n]{}$	n^{e} machtswortel	$\sqrt[n]{a} = b \quad b^n = a$
$^g\log x$	logaritme van x voor grondtal g	$^g\log b = a \quad g^a = b$
$\ln x$	natuurlijk logaritme van x (grondtal e)	
$\log x$	logaritme van x voor grondtal 10	komen voor in de logtafel: Briggse logaritmen

* Bron 2.1 t/m 2.6: Polytechnisch Zakboek, PBNA, 39e en 40e druk.

Teken of symbool	Betekenis	Toepassing
$\lim_{x \rightarrow a} f(x)$	de waarde waartoe $f(x)$ nadert, als x tot a nadert	$\lim_{x \rightarrow 1} \frac{1}{x-1} = \infty$
$\parallel$	evenwijdig met	$l \parallel m$
$\#$	evenwijdig met en gelijk aan	$a \# b$
$\perp$	loodrecht op	$l \perp m; AB \perp BC$
$\sim$	gelijkvormig met	$\triangle ABC \sim \triangle PQR$
$\cong$	congruent met	$\triangle ABC \cong \triangle PQR$
Δ	driehoek	$\triangle ABC$
$\angle$	hoek	$\angle ABC; \angle (l, m)$
$\sqcap$	teken voor rechte hoek	
$^{\circ} ' ''$	teken voor graad, minuut en seconde	$60^{\circ} 13' 14''$
$P(x; y)$	punt P met coördinaten x en y	$P(3; 2): x = 3 \text{ en } y = 2$
$\rightarrow$	aanduiding van een vector	$\overrightarrow{AB}$ is een vector met grootte AB en richting $A \rightarrow B$
d	aanduiding voor oneindig kleine verandering	dx is een oneindig kleine verandering van x
$\int$	integraalteken	$\int dx = x + c$
$\int_a^b$	bepaalde integraal tussen de grenzen a en b	$\int_0^4 dx = x \Big|_0^4 = 4 - 0 = 4$
Ω	universum (bij kansverdeling: uitkomstenruimte)	
$\in$	is element van een verzameling	$3 \in \{ \text{onevengetallen} \}$
$\notin$	is geen element van een verzameling	$4 \notin \{ \text{oneven getallen} \}$
$\subset$	is deelverzameling van	$\{ 3, 4 \} \subset \{ 1, 2, 3, 4, 5 \}$
$\cap$	doorsnede van 2 verzamelingen	$\{ 1, 2, 3, 4 \} \cap \{ 3, 4, 5 \} = \{ 3, 4 \}$

Teken of symbool	Betekenis	Toepassing
$\cup$	vereniging van 2 verzamelingen	$\{1, 2, 3\} \cup \{1, 3, 5\} = \{1, 2, 3, 5\}$
$\emptyset$	de lege verzameling	$\emptyset = \{ \dots \}$; als $I \cap V = \emptyset$ is $I \parallel V$
$\setminus$	verschil van 2 verzamelingen	$\{1, 2, 3, 4, 5\} \setminus \{1, 3, 5\} = \{2, 4\}$
$\dots$	enzovoort	$\mathbb{N} = \{1, 2, 3, 4, \dots\}$
$\wedge$	en (vergelijk met $\cap$)	$x \in \mathbb{N} \wedge x > 5$
$\vee$	of (vergelijk met $\cup$)	
$\dots \Rightarrow \dots$	als $\dots$, dan $\dots$	$a = 2 \Rightarrow a^2 = 4$
$\dots \Leftrightarrow \dots$	als $\dots$, dan $\dots$ en omgekeerd	a is veelvoud van $b \Leftrightarrow b$ is deler van a
$[\dots]$	gesloten interval	$[2; 5]$ het interval van 2 tot 5 met inbegrip van 2 en 5
$[\dots >$	interval, aan één zijde open,	$[2; 5 >$ 2 hoort er wel bij; 5 niet
$< \dots]$	idem	$< 2; 5]$ 2 hoort er niet bij, 5 wel
$< \dots >$	aan beide zijden open interval	$< 2; 5 >$ 2 en 5 horen er niet bij
$\mathbb{N}$	verzameling natuurlijke getallen	$\mathbb{N} = \{1, 2, 3, 4, \dots\}$ soms hoort ook 0 erbij
$\mathbb{N}_0$ of $\mathbb{N}^*$	verzameling natuurlijke getallen en het getal nul	$\mathbb{N}_0$ of $\mathbb{N}^* = \{0, 1, 2, 3, \dots\}$
$\mathbb{Z}$	verzameling gehele getallen	$\mathbb{Z} = \{\dots -3, -2, -1, 0, 1, 2, \dots\}$
$\mathbb{Q}$	verzameling rationale getallen (= gehele en gebroken positieve en negatieve getallen)	$\mathbb{Q} = \{\dots -2\frac{1}{3}, \dots -2, \dots 0, \dots \frac{1}{3}, \dots 4, \dots\}$
$\mathbb{R}$	verzameling reële getallen (= $\mathbb{Q}$ plus getallen ontstaan door worteltrekking)	$\mathbb{R} = \{\dots -2\frac{1}{3}, \dots -\sqrt{2}, \dots 0, \dots \sqrt{3}, \dots \sqrt[4]{3}, \dots\}$
$\{a; b\}$	geordend getallenpaar	$\{a; b\}$ heeft een andere betekenis dan $\{b; a\}$

2.2. Algebra en rekenkunde

2.2.1. Machten

$$a^4 = a \times a \times a \times a$$

$$a^1 = a$$

$$a^0 = 1, \text{ als } a \neq 0$$

$$a^p \times a^q = a^{p+q}$$

$$a^p : a^q = a^{p-q}$$

$$(abc)^p = a^p b^p c^p$$

$$(a^q)^p = a^{pq}$$

$$(ab)^p = a^p \times b^p$$

$$(a : b)^p = a^p : b^p$$

$$1 : a^p = \frac{1}{a^p} = a^{-p}$$

$$\sqrt[q]{a^p} = a^{p/q}$$

$$(-a)^{2n} = a^{2n}$$

$$(-a)^{2n+1} = -a^{2n+1}$$

2.2.2. Wortels

$$x^2 = a \rightarrow x = \sqrt{a} \quad x > 0$$

$$x^3 = a \rightarrow x = \sqrt[3]{a}$$

$$\sqrt[n]{a} = a^{1/n}$$

$$\sqrt[n]{a} \times \sqrt[n]{b} = \sqrt[n]{ab}$$

$$\sqrt[n]{a} + 2\sqrt[n]{a} = (1 + 2) \sqrt[n]{a} = 3\sqrt[n]{a}$$

$$4\sqrt[n]{a} - 3\sqrt[n]{a} = (4 - 3) \sqrt[n]{a} = \sqrt[n]{a}$$

$$\sqrt[n]{a} : \sqrt[n]{b} = \sqrt[n]{a : b}$$

$$\sqrt[m]{\sqrt[n]{a}} = \sqrt[mn]{a}$$

$$\sqrt[m]{\sqrt[n]{a^n}} = \sqrt[n]{a}$$

$$\sqrt[n]{-a} = -\sqrt[n]{a}, \text{ als } n \text{ oneven is}$$

2.2.3. Logarithmen

Twee gebruikelijke grondgetallen:

- 10 voor Briggsse logaritme, notatie ${}^{10}\log x = \log x$
- e voor natuurlijke logaritme, notatie ${}^e\log x = \ln x$ ($e = 2,718\ 2818\dots$)

$$\log x = 0,4343\dots \ln x \text{ en } \ln x = 2,3026\dots \log x$$

Voorwaarden: $a \in \mathbb{R}^+ ; g \in \mathbb{R}^+ ; g \neq 1$

$$g^{\log a} = a \rightarrow {}^g\log a = \frac{{}^m\log a}{{}^m\log g}$$

$${}^g\log ab = {}^g\log a + {}^g\log b$$

$${}^g\log \frac{a}{b} = {}^g\log a - {}^g\log b$$

$${}^g\log a^n = n {}^g\log a$$

$${}^g\log g = 1$$

$${}^g\log 1 = 0$$

$$\ln e = 1$$

2.2.4. Merkwaardige produkten en quotiënten

Produkten

$$(a + b)(a - b) = a^2 - b^2$$

$$(a \pm b)^2 = a^2 \pm 2ab + b^2$$

$$(a \pm b)^3 = a^3 \pm 3a^2b + 3ab^2 \pm b^3$$

$$(a + p)(a + q) = a^2 + (p + q)a + pq$$

$$(a + b)(a^2 - ab + b^2) = a^3 + b^3$$

$$(a - b)(a^2 + ab + b^2) = a^3 - b^3$$

Quotiënten

$$\frac{a^{2n+1} + b^{2n+1}}{a + b} = \sum_{k=0}^{k=2n} (-1)^k a^{2n-k} b^k$$

$$\frac{a^{2n} - b^{2n}}{a + b} = \sum_{k=0}^{k=2n-1} (-1)^k a^{2n-k-1} b^k$$

$$\frac{a^2 - b^n}{a - b} = \sum_{k=0}^{k=n-1} a^{n-k-1} b^k$$

2.2.5. Binomium van Newton

$$(a + b)^n = a^n + \frac{n}{1!} a^{n-1} b + \frac{n(n-1)}{2!} a^{n-2} b^2 + \dots$$

waarin $n! = 1 \times 2 \times 3 \times 4 \times \dots n$ (spreek uit: n faculteit)

De coëfficiënten kunnen worden gevonden met de *driehoek van Pascal*

$n = 0$						1					
$n = 1$					1		1				
$n = 2$				1		2		1			
$n = 3$			1		3		3		1		
$n = 4$		1		4		6		4		1	
$n = 5$	1		5		10		10		5		1

Voorbeeld $(a + b)^3 = a^3 + 3a^2b + 3ab^2 + b^3$

2.2.6. Vergelijkingen

Kwadratische vergelijking (vierkantsvergelijking)

$ax^2 + bx + c = 0$ is soms op te lossen door ontbinding eerste lid

Algemene oplossingsformule

$$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

Discriminant: $D = b^2 - 4ac$

Als $D > 0$ twee verschillende wortels in $\mathbb{R}$

$D = 0$ twee gelijke wortels in $\mathbb{R}$

$D < 0$ geen wortels in $\mathbb{R}$

Som van de twee wortels $x_1 + x_2 = -\frac{b}{a}$

Produkt van de twee wortels $x_1 x_2 = \frac{c}{a}$

Hogeremachtsvergelijking ($n > 3$)

$$a_0x^n + a_1x^{n-1} + \dots a_{n-1}x + a_n = 0$$

Verkorte schrijfwijze:

$$\sum_{k=0}^{k=n} a_k x^{n-k} = 0 \quad (k \in \mathbb{N}_0)$$

2.2.7. Rijen en reeksen

Rekenkundige rijen (r.r.)

Als S_n de som is van $a, a + v, a + 2v, \dots, l$ (n termen), dan geldt:

eerste term = a of t_1 ; n^e term is t_n of l ; aantal termen n , constante verschil tussen 2 opvolgende termen: v

$$v = t_n - t_{n-1}$$

$$t_n = l = t_1 + (n - 1) v \text{ of } a + (n - 1) v$$

De som van de eerste termen is S_n

$$S_n = \frac{1}{2}n (t_1 + t_n) \text{ of } S_n = \frac{1}{2}n (a + l)$$

Meetkundige rijen (m.r.)

Als S_n de som is van $a, ar, ar^2, \dots, l$ (n termen) dan geldt:

eerste term = a of t_1 ; n^e term = t_n of l ; aantal termen n

Constante quotiënt $\frac{t_n}{t_{n-1}}$ is de reden r

$$t_n = r \times t_{n-1}$$

$$t_n = l = ar^{n-1} \text{ of } t_1 r^{n-1}$$

De som S_n van de eerste n termen is

$$S_n = a \frac{r^n - 1}{r - 1} \text{ of } a \frac{1 - r^n}{1 - r}$$

Als $|r| < 1$, terwijl n oneindig groot wordt, geldt:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} S_n = S = \frac{a}{1 - r}$$

Harmonische rijen (h.r.)

De omgekeerden van de termen van een rekenkundige rij vormen een harmonische rij.

Het verband tussen de 3 opvolgende termen t_k ; t_{k+1} en t_{k+2} van een harmonische rij is:

$$(t_k - t_{k+1}) : (t_{k+1} - t_{k+2}) = t_k : t_{k+2}$$

n^e term t_n van een harmonische rij

$$t_n = \frac{t_1 t_2}{(n-1)t_1 + (n-2)t_2}$$

Middelevenredigen

Getallen a en b

R = rekenkundig middelevenredige = $\frac{1}{2} (a + b)$

M = meetkundig middelevenredige = $\sqrt{ab}$

H = harmonisch middelevenredige = $\frac{2ab}{a + b}$

$$M^2 = R \times H$$

Machtreeksen

Algemene vorm: $a_0 + a_1x + a_2x^2 + a_3x^3 + \dots$

Verschillende functies kunnen in een machtreeks ontwikkeld worden:

$$e^x = 1 + \frac{x}{1!} + \frac{x^2}{2!} + \frac{x^3}{3!} + \dots$$

$$\sin x = x - \frac{x^3}{3!} + \frac{x^5}{5!} - \frac{x^7}{7!} + \dots$$

$$\cos x = x - \frac{x^2}{2!} + \frac{x^4}{4!} - \frac{x^6}{6!} + \dots$$

$$\operatorname{tg} x = x + \frac{x^3}{3} + \frac{2x^5}{15} + \dots$$

Reeks van Maclaurin

$$f(h) = f(0) + hf'(0) + \frac{h^2}{2!} f''(0) + \dots + \frac{h^n}{n!} f^{(n)}(0) + R_n$$

$$R_n = \frac{h^{n+1}}{(n+1)!} f^{(n+1)}(\theta h) \quad (0 < \theta < 1)$$

Reeks van Taylor

$$f(a+h) = f(a) + hf'(a) + \frac{h^2}{2!} f''(a) + \dots + \frac{h^n f^{(n)}(a)}{n!} + R_n$$

$$R_n = \frac{h^{n+1}}{(n+1)!} f^{(n+1)}(a + \theta h) \quad (0 < \theta < 1)$$

2.2.8. Relaties en functies

Bij een geordend getallenpaar $(a; b)$ speelt de volgorde van de getallen een rol (coördinaten!). Een relatie is een verzameling geordende paren.

Bijvoorbeeld: $\{(a;b); (a;c); (b;d); (b,f)\}$

Een *functie* is een relatie, waarin elk eerste getal van de geordende paren slechts éénmaal voorkomt.

Bijvoorbeeld: $\{(a;b); (b;c); (c;d); (f,g)\}$

De verzameling van de eerste getallen van de geordende paren heet: *domein* (D).

De verzameling van de tweede getallen van de geordende paren heet: *bereik* (B).

Aanduiding van een functie van de variabele x is $f: x$ (soms ook nog $f(x)$).

Andere schrijfwijze voor een functie:

$$f = \{(x;y) \mid x \in \mathbb{R} \text{ en } y \in \mathbb{R} \text{ en } y = x^2\}$$

Soorten functies

Lineaire functie

$$f: x \rightarrow ax + b; a \neq 0; a, b, x \in \mathbb{R}$$

De grafiek van de functie is een rechte lijn met richtingscoëfficiënt a

$$f: x = a_1x + b \text{ en}$$

$$f: x = a_2x + c$$

hebben 2 rechte lijnen als grafiek, die evenwijdig zijn als $a_1 = a_2$

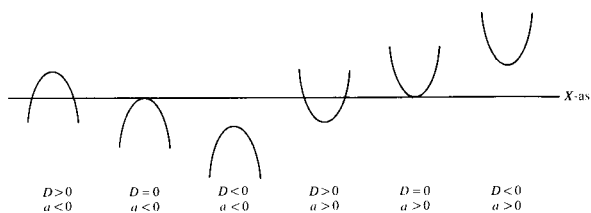
en loodrecht op elkaar staan als $a_1a_2 = -1$.

Kwadratische functie

$$f: x \rightarrow ax^2 + bx + c$$

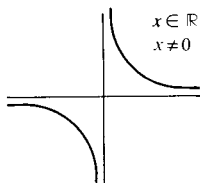
$$a \neq 0 \text{ en } a, b, c, x \in \mathbb{R} \text{ en } D = b^2 - 4ac$$

De grafiek is een parabool met verticale as.
 Standen ten opzichte van de X -as:

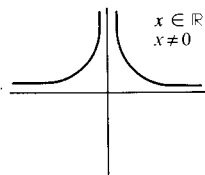


Gebroken functies

a. $f: x \rightarrow \frac{1}{x}$ orthogonale hyperbool

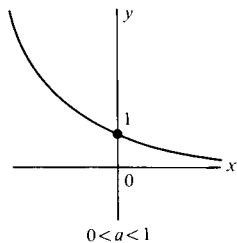
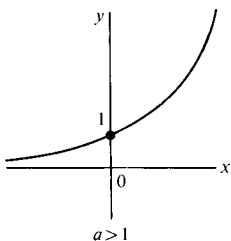


b. $f: x \rightarrow \frac{1}{x^2}$



Exponentiële functie

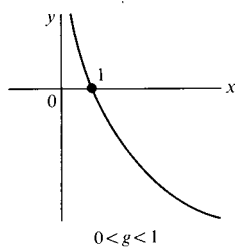
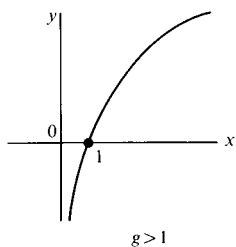
$f: x \rightarrow a^x$



Logaritmische functie

$f: x \rightarrow {}_g\log x$

$g, x \in \mathbb{R}; g > 0; x > 0; g \neq 1$



Goniometrische functies

Zie hiervoor hfdst. I. 2.4.

2.2.9. Limieten

Als $f: x$ continu is in $x = a$, dan is $\lim_{x \rightarrow a} f: x = f: a$

Standaardlimieten

$$\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{1}{x^p} = 0$$

$$\lim_{x \rightarrow \infty} e^{-px} = 0$$

$$\lim_{x \rightarrow \infty} x - p \ln x = 0 \quad (\text{alle } p > 0)$$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \left(1 + \frac{1}{n}\right)^n = e$$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \left(1 + \frac{b}{n}\right)^n = e^b$$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \left(1 + \frac{b}{n}\right)^{en} = e^{bc}$$

$$\lim_{x \rightarrow 0} \frac{\sin x}{x} = 1$$

$$\lim_{x \rightarrow 0} \frac{\operatorname{tg} x}{x} = 1$$

$$\lim_{x \rightarrow 0} \frac{\cos x}{x} \text{ bestaat niet}$$

Regel van l'Hopital

$$\lim_{x \rightarrow a} \frac{f(x)}{g(x)} = \frac{f'(a)}{g'(a)}$$

2.2.10. Complexe getallen

Een getal waarvan het kwadraat negatief is, heet *imaginair*. De wortel uit een imaginair getal is een *complex* getal, aangegeven met een 'i'.

De *reële* getallen, die de verzameling $\mathbb{R}$ vormen, hebben hun beeldpunten op de horizontale getallenrechte (X-as).

De *irreële* of *imaginaire* getallen, hebben hun beeldpunten op de verticale rechte (Y-as). Alle andere punten van het vlak zijn beeldpunten van de verzameling C van de complexe getallen.

Complexe getallen worden daarom aangegeven door een geordend getallenpaar $(a; b)$.

Eigenschappen:

$$(a; b) = (c; d) \text{ alléén als } a = c \text{ en } b = d$$

$$(a; b) + (c; d) = (a + c; b + d)$$

$$(a; b) \times (c; d) = (ac - bd; ad + bc)$$

Het complexe getal $(0; 1)$ wordt met i (in de elektrotechniek met j) aangegeven.

$$i^2 = -1; i = \sqrt{-1}$$

$a + bi$ en $a - bi$ zijn twee complexe getallen die we toegevoegd complex noemen.

De 2 wortels van een vierkantsvergelijking waarvan de discriminant < 0 , zijn toegevoegd complex.

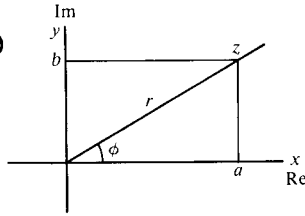
Schrijfwijze complexe getallen

$$z = a + bi = r(\cos \phi + i \sin \phi)$$

r = modulus

ϕ = argument

$$\cos \phi = \frac{a}{r}; \sin \phi = \frac{b}{r}$$



Stelling van de Moivre

$$(\cos \phi + i \sin \phi)^n = \cos n\phi + i \sin n\phi$$

Stelling van Euler

$$e^{i\alpha} = \cos \alpha + i \sin \alpha$$

Hyperbolische functies

$$\cos i\beta = \frac{1}{2} (e^\beta + e^{-\beta})$$

$$-i \sin i\beta = \frac{1}{2} i (e^\beta - e^{-\beta})$$

$\frac{1}{2} (e^\beta + e^{-\beta})$ wordt $\cosh \beta$ genoemd (cosinushyperbolicus β)

$\frac{1}{2} (e^\beta - e^{-\beta})$ wordt $\sinh \beta$ genoemd (sinushyperbolicus β)

$$\cosh^2 \beta - \sinh^2 \beta = 1$$

2.2.11. Afronden en nauwkeurigheid

Afronden

Is laatste cijfer (decimaal) 5 of meer, dan af te ronden door laatste cijfer (decimaal) weg te laten en het voorlaatste cijfer (decimaal) met 1 te verhogen.

Is laatste cijfer (decimaal) kleiner dan 5, dan op één na laatste cijfer niet veranderen. Voorbeeld: in 2 decimalen nauwkeurig wordt 5,315 of 5,318 na afronding 5,32, terwijl 5,314 wordt 5,31.

56 betekent: waarde tussen 55,5 en 56,5

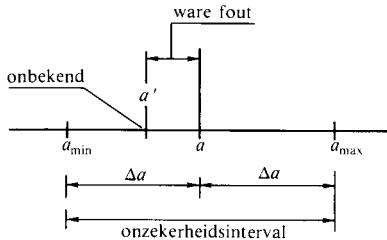
56,0 betekent: waarde tussen 55,95 en 56,04

Nauwkeurigheid

Werkelijke waarde a'

Gevonden waarde: a

Absolute fout: Δa



$$\text{Relatieve fout: } \delta a = \frac{\Delta a}{a}$$

In $56,2 \pm 0,1$ is:

0,1 de absolute fout

$\frac{0,1}{56,2}$ de relatieve fout

$\frac{0,1}{56,2} \times 100\%$ de procentuele fout

Bewerking	Absolute fout	Relatieve fout
optelling $A + B$	$\Delta a + \Delta b$	$\frac{\Delta a + \Delta b}{A + B}$
afrekking $A - B$	$\Delta a + \Delta b$	$\frac{\Delta a + \Delta b}{A - B}$
vermenigvuldiging AB	$A\Delta b + \Delta aB$	$\frac{A\Delta b + \Delta aB}{AB}$ of $\frac{\Delta a}{A} + \frac{\Delta b}{B}$
deling $\frac{A}{B}$	$\frac{\Delta a}{B} + \frac{A\Delta b}{B^2}$	$\frac{\frac{\Delta aB + A\Delta b}{B^2}}{\frac{A}{B}}$ of $\frac{\Delta a}{A} + \frac{\Delta b}{B}$

Verdere rekenregels:

$$\Delta (a \pm b) = \Delta a + \Delta b$$

$$\Delta (a_1 + a_2 + \dots + a_n) = \Delta a_1 + \Delta a_2 + \dots + \Delta a_n$$

$$\text{Wanneer geldt: } \Delta a_1 = \Delta a_2 = \dots = \Delta a_n = \epsilon$$

$$\text{dan is de meest waarschijnlijke fout: } \epsilon \sqrt{\frac{n}{3}}$$

$$\delta(a \times b) = \delta(a) + \delta(b)$$

$$\delta(a/b) = \delta(a) + \delta(b)$$

$$\delta(a_1 \cdot a_2 \cdot a_3 \cdot \dots \cdot a_n) = \delta(a_1) + \delta(a_2) + \dots + \delta(a_n)$$

$$\Delta f(a) = |f'(a)| \Delta a$$

$$\Delta f(a_1, a_2, \dots, a_n) = \sum_{i=1}^n \left| \frac{\partial f}{\partial a_i} \right| \Delta a_i$$

2.3. Meetkunde

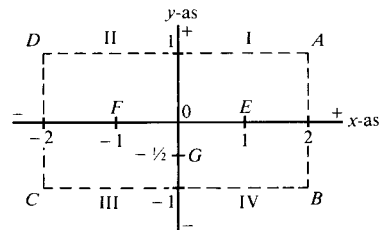
2.3.1. Coördinaten en hoeken

Rechthoekige of Cartesische coördinaten

Twee assen: horizontale as of X-as

verticale as of Y-as

4 kwadranten: I; II; III; IV



Punten worden aangegeven door 2 coördinaten; de eerste gemeten langs de X-as (abscis) en de tweede langs de Y-as (ordinaat).

$A(2,1)$; $B(2,-1)$; $C(-2,-1)$; $D(-2,1)$; $O(0,0)$; $E(1,0)$; $F(-1,0)$; $G(0,-\frac{1}{2})$

Poolcoördinaten

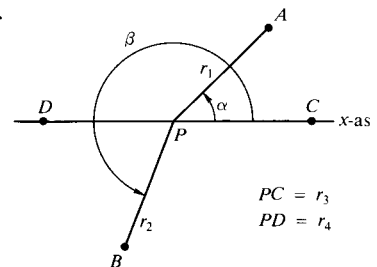
Een horizontale as en een punt P daarop; de *pool*.

$A(r_1, \alpha)$

$B(r_2, \beta)$

$C(r_3, 0^\circ)$ of $(r_4, k \cdot 360^\circ)$ $k \in \mathbb{N}^*$

$D(r_4, 180^\circ)$



Hoeken

Rechte hoek: 90°

Scherpe hoek: $< 90^\circ$

Stompe hoek: $> 90^\circ$

Complement: aanvulling tot 90°

Supplement: aanvulling tot 180°

2.3.2. Driehoeken

Algemeen geldt: som van de hoeken is 180° .

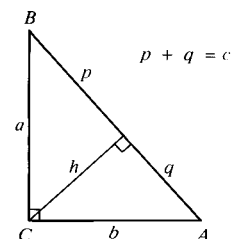
Rechthoekige driehoek

Pythagoras:

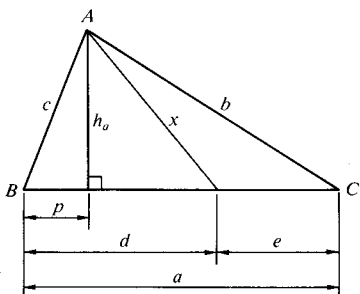
$$a^2 + b^2 = c^2$$

$$h^2 = pq; b^2 = qc$$

$$h^2 = pq; ab = hc$$



Scheefhoekige driehoek



Projectiestelling

$$b^2 = a^2 + c^2 \pm 2ap \text{ (+ als } \angle B \text{ stomp, - als } \angle B \text{ scherp is)}$$

Stelling van Stewart

$$x^2 \times a = b^2 \times d + c^2 \times e - ade$$

Hoogtelijn op zijde a

$$h_a = \frac{2}{a} \sqrt{s(s-a)(s-b)(s-c)} \text{ waarin } s = \frac{1}{2}(a+b+c)$$

Zwaartelijn voor zijde a

$$m_a^2 = \frac{1}{2}b^2 + \frac{1}{2}c^2 - \frac{1}{4}a^2$$

Bissectrice van hoek A

$$d_a^2 = bc - pq$$

waarin: p en q de stukken waarin d_a de zijde a verdeelt.

Als p aan c grenst is $p:q = c:b$

2.3.3. Omtrekken, oppervlakken en inhouden

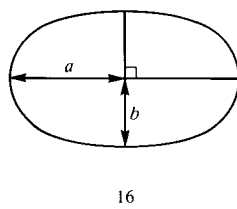
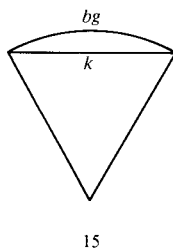
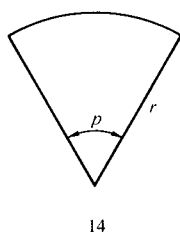
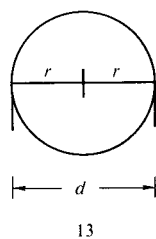
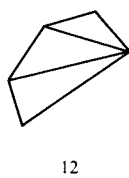
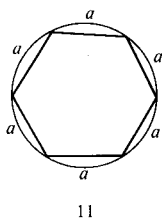
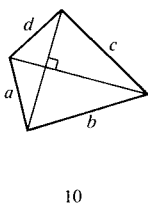
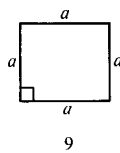
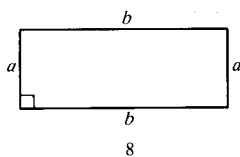
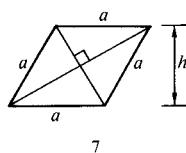
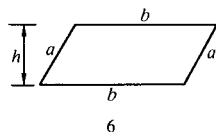
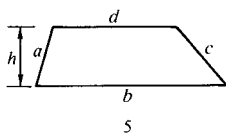
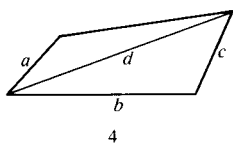
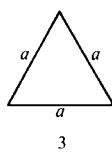
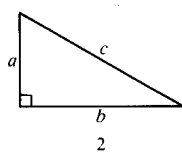
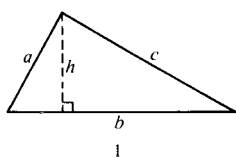
Vlakken

Naam	Omtrek	Oppervlak
1. driehoek	$a + b + c = 2s$	$\frac{1}{2} bh$ $\sqrt{s(s-a)(s-b)(s-c)}$
2. rechth. driehoek	$a + b + c$	$\frac{1}{2} ab$
3. gelijksz. driehoek	$3a$	$\frac{1}{4} a^2\sqrt{3}$
4. vierhoek	$a + b + c + d$	som van 2 $\Delta\Delta$
5. trapezium	$a + b + c + d$	$\frac{1}{2} (d + b)h$
6. parallellogram	$2(a + b)$	bh
7. ruit	$4a$	ah of $\frac{1}{2}$ prod.diag.
8. rechthoek	$2(a + b)$	ab
9. vierkant	$4a$	a^2 of $\frac{1}{2}$ prod.diag.
10. vierh.; diag.	$a + b + c + d$	$\frac{1}{2}$ prod.diag.
11. regelm. 6-hoek	$6a$	$\frac{3}{2} a^2\sqrt{3}$
12. veelhoek	som zijden	som driehoeken
13. cirkel	$2\pi r$ of πd	πr^2 of $\frac{1}{4} \pi d^2$
14. sector	$2r + \frac{p}{360} 2\pi r$	$\frac{p}{360} \pi r^2$
15. segment	$k + bg$	sector – driehoek
16. ellips	$\pi(a + b)K^*$ $2\pi\left(\frac{a+b}{b}\right)$	πab

* K is een functie van $\frac{b}{a}$ met als extremen:

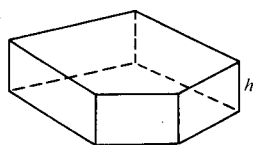
$$\frac{b}{a} = 1: K = 1$$

$$\frac{b}{a} = 0: K = \frac{4}{\pi}$$

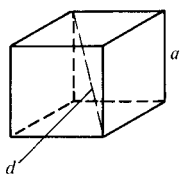


Lichamen

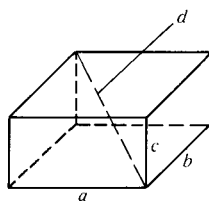
Lichaam	Betekenis der letters	Inhoud V Oppervlak A Manteloppervlak A_m
1. recht prisma	A_g = grondvlak h = hoogte	$V = A_g h$
2. kubus	a = ribbe d = lichaamsdiagonaal	$V = a^3$ $A = 6a^2$ $d^2 = 3a^2$
3. rechthoekig parallel- loipedum	a, b en c de ribben in één hoekpunt d = lichaamsdiagonaal	$V = abc$ $A = 2(ab + ac + bc)$ $d^2 = a^2 + b^2 + c^2$
4. scheef prisma	A_g = grondvlak N = normaaldoorsnede a = opstaande ribbe h = hoogte	$V = A_g h$ of Na $A_m = a \times \text{omtrek } N$
5. afgeknot driezijdig prisma	a, b en c de opstaande ribben N = normaaldoorsnede	$V = \frac{1}{2} (a + b + c)N$
6. piramide	A_g = grondvlak h = hoogte	$V = \frac{1}{3} A_g h$
7. afgeknotten piramide	A_g en A_b = eindvlakken h = hoogte	$V = \frac{1}{3} h(A_g + A_b + \sqrt{A_g A_b})$
8. prismoïde	A_g = grondvlak A_b = bovenvlak M_i = middendoorsnede h = hoogte	$V = \frac{1}{6} h(A_g + A_b + 4M_i)$
9. cilinder	A_g = grondvlak h = hoogte	$V = A_g h$
10. rechte cirkelcilinder	r = straal grondvlak h = hoogte	$V = \pi r^2 h$ $A_m = 2\pi r h$ $A = 2\pi r(r + h)$
11. holle cilinder (buis)	R = uitwendige straal r = inwendige straal h = hoogte d = $R - r$ = dikte	$V = \pi h(R^2 - r^2) =$ $\pi h d(2R - d) =$ $\pi h d(2r + d)$



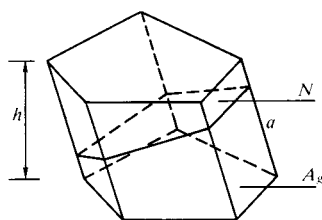
1



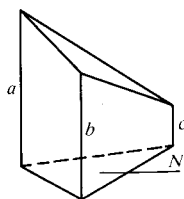
2



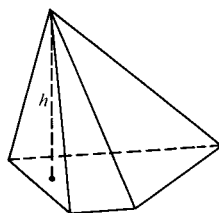
3



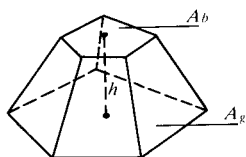
4



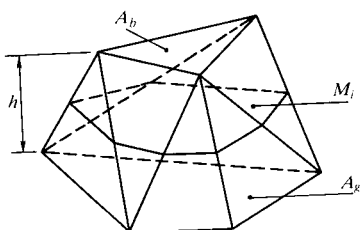
5



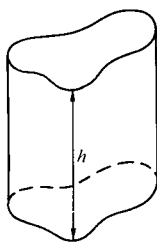
6



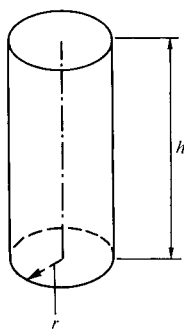
7



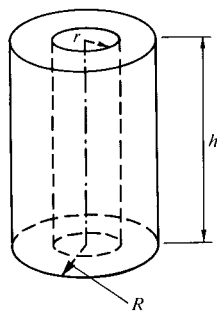
8



9

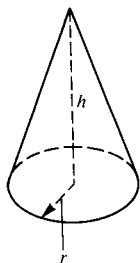


10

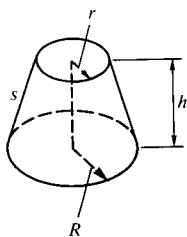


11

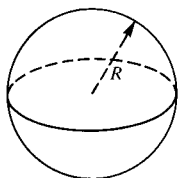
Lichaam	Betekenis der letters	Inhoud V Oppervlak A Manteloppervlak A_m
12. rechte cirkelkegel	A_g = grondvlak r = straal grondvlak h = hoogte s = beschrijvende lijn	V = $\frac{1}{3} A_g h = \frac{1}{3} \pi r^2 h$ s = $\sqrt{(r^2 + h^2)}$ A_m = $\pi r s$
13. afgeknotte cirkelkegel	R = straal grondvlak r = straal bovenvlak s = beschrijvende lijn h = hoogte	V = $\frac{1}{3} \pi h (R^2 + r^2 + Rr)$ s = $\sqrt{[h^2 + (R - r)^2]}$ A_m = $\pi s (R + r)$
14. bol	r = straal d = $2r$ = diameter	V = $\frac{4}{3} \pi r^3 = \frac{1}{6} \pi d^3$ A = $4 \pi r^2 = \pi d^2$
15. holle bol	R = uitwendige straal r = inwendige straal D = uitwendige diameter d = inwendige diameter	V = $\frac{4}{3} \pi (R^3 - r^3) = \frac{1}{6} \pi (D^3 - d^3)$
16. bolschijf	r = straal bol h = hoogte a en b stralen der platte vlakken	V = $\frac{1}{6} \pi h (3a^2 + 3b^2 + h^2)$ A_m = $2 \pi r h$
17. bolsector	r = straal bol p = pijl a = straal grondvlak segment	V = $\frac{2}{3} \pi r^2 p$ A = $\pi r (2p + a)$
18. bolsegment	r = straal bol p = pijl a = straal grondvlak segment	V = $\frac{1}{6} \pi p (3a^2 + p^2) = \frac{1}{3} \pi p^2 (3r - p)$ A_m = $2 \pi r p = \pi (a^2 + p^2)$
19. ellipsoïde	a, b en c de drie halve assen	V = $\frac{4}{3} \pi abc$
20. omwentelings paraboloid	r = straal grondvlak h = hoogte	V = $\frac{1}{2} \pi r^2 h$
21. ring	r = straal doorsnede d = diameter doorsnede D = $2R$ = diameter neutrale lijn	V = $2 \pi^2 R r^2 = \frac{1}{4} \pi^2 D d^2$ A = $4 \pi^2 R r^2 = \pi^2 D d$
22. vat	h = hoogte d = grootste middellijn d_1 = bodemmiddellijn	V = $\frac{1}{12} \pi h (2d^2 + d_1^2)$



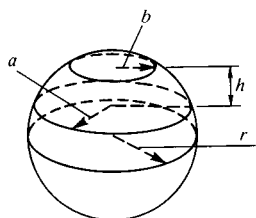
12



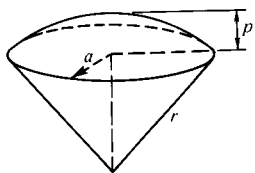
13



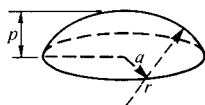
14



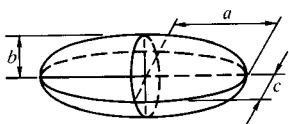
16



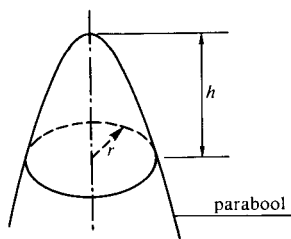
17



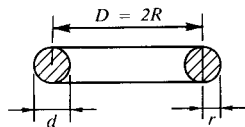
18



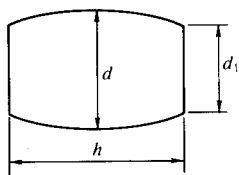
19



20

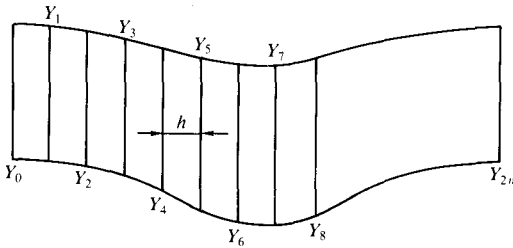


21



22

Oppervlakte en inhoud van onregelmatige figuren



Regel van Simpsom voor oppervlakken

Verdeel de figuur door verticalen Y in een even aantal ($2n$) even brede (h) stroken.

Bepaal:

$$\left. \begin{aligned} S_1 &= Y_0 + Y_{2n} \\ S_2 &= 4 (Y_1 + Y_3 + \dots Y_{2n-1}) \\ S_3 &= 2 (Y_2 + Y_4 + \dots Y_{2n-2}) \end{aligned} \right\} \text{ oppervlak } A = (S_1 + S_2 + S_3) \frac{1}{3}h$$

Trapeziumregel (dezelfde figuur)

$$A = \left(\frac{Y_0 + Y_{2n}}{n} + Y_1 + Y_2 + Y_3 \dots + Y_{2n-1} \right) \cdot h$$

Regel van Simpsom voor inhouden

Inhoud omwentelingslichaam:

$$V = \frac{1}{3} d \{ A_0 + A_{2n} + 4 (A_1 + A_3 + \dots A_{2n-1}) + 2 (A_2 + A_4 + \dots A_{2n-2}) \}$$

waarin: A_n = oppervlakte van snijvlak Y_n

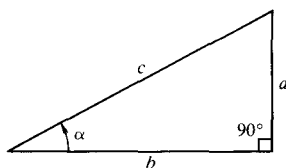
2.4. Goniometrie

2.4.1. De zes goniometrische verhoudingen

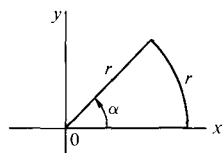
$$\sin \alpha = \frac{a}{c} \quad \operatorname{cosec} \alpha = \frac{c}{a}$$

$$\cos \alpha = \frac{b}{c} \quad \sec \alpha = \frac{c}{b}$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{a}{b} \quad \operatorname{cotg} \alpha = \frac{b}{a}$$



Hoeken worden in aangegeven richting gemeten.
 Eenheid is *graad* met 360° in volledige cirkel of
 eenheid is *radiaal* met 2π radialen in cirkel.
 Omrekening met $180^\circ = \pi$ radialen $\approx 3,1416$;
 $1^\circ \approx 0,01745$ rad; $1 \text{ rad} \approx 57,296^\circ$

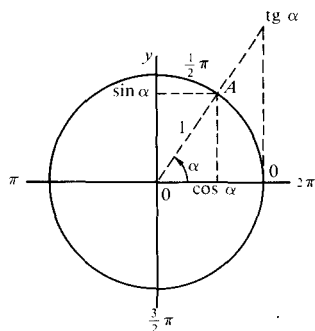


Eenheidscirkel (straal 1) en punt $A(x_A, y_A)$

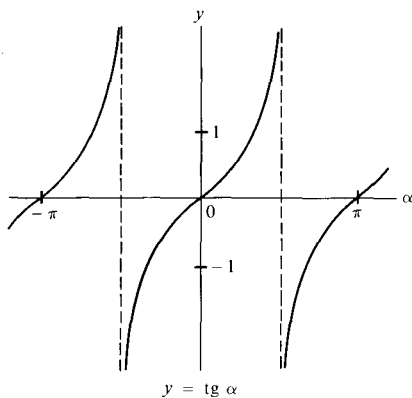
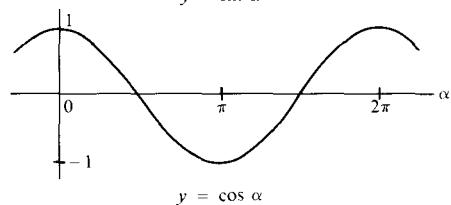
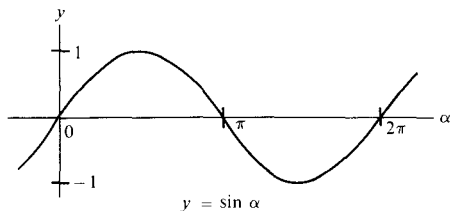
$\sin \alpha = y_A$ tussen -1 en $+1$

$\cos \alpha = x_A$ tussen -1 en $+1$

$\operatorname{tg} \alpha = \frac{y_A}{x_A}$ iedere waarde mogelijk



periode: $\sin \alpha = \sin (\alpha + k \cdot 360^\circ) = \sin (\alpha + k \cdot 2\pi)$
 $\cos \alpha = \cos (\alpha + k \cdot 360^\circ) = \cos (\alpha + k \cdot 2\pi)$
 $\operatorname{tg} \alpha = \operatorname{tg} (\alpha + k \cdot 180^\circ) = \operatorname{tg} (\alpha + k \cdot \pi)$



Bijzondere waarden

	kwadranten				graden						
	I	II	III	IV	0° 360°	30°	45°	60°	90°	180°	270°
sin	+	+	-	-	0	½	½√2	½√3	1	0	-1
cos	+	-	-	+	1	½√3	½√2	½	0	-1	0
tg	+	-	+	-	0	½√3	1	√3	±∞	0	±∞
cotg	+	-	+	-	±∞	√3	1	½√3	0	±∞	0

2.4.2. Formules met één hoek

$$\sin \alpha \times \operatorname{cosec} \alpha = 1$$

$$\cos \alpha \times \sec \alpha = 1$$

$$\operatorname{tg} \alpha \times \operatorname{cotg} \alpha = 1$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha}; \operatorname{cotg} \alpha = \frac{\cos \alpha}{\sin \alpha}$$

$$\sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha = 1$$

$$\operatorname{tg}^2 \alpha + 1 = \sec^2 \alpha$$

$$\operatorname{cotg}^2 \alpha + 1 = \operatorname{cosec}^2 \alpha$$

2.4.3. Herleiding van hoeken naar het eerste kwadraat

$$\text{som hoeken} = 1 \times 90^\circ$$

$$\sin(90^\circ - \alpha) = \cos \alpha$$

$$\cos(90^\circ - \alpha) = \sin \alpha$$

$$\operatorname{tg}(90^\circ - \alpha) = \operatorname{cotg} \alpha$$

$$\text{verschil hoeken} = 1 \times 90^\circ$$

$$\sin(90^\circ + \alpha) = \cos \alpha$$

$$\cos(90^\circ + \alpha) = -\sin \alpha$$

$$\operatorname{tg}(90^\circ + \alpha) = -\operatorname{cotg} \alpha$$

$$\text{som hoeken} = 2 \times 90^\circ$$

$$\sin(180^\circ - \alpha) = \sin \alpha$$

$$\cos(180^\circ - \alpha) = -\cos \alpha$$

$$\operatorname{tg}(180^\circ - \alpha) = -\operatorname{tg} \alpha$$

$$\text{verschil hoeken} = 2 \times 90^\circ$$

$$\sin(180^\circ + \alpha) = -\sin \alpha$$

$$\cos(180^\circ + \alpha) = -\cos \alpha$$

$$\operatorname{tg}(180^\circ + \alpha) = \operatorname{tg} \alpha$$

$$\text{som hoeken} = 3 \times 90^\circ$$

$$\sin(270^\circ - \alpha) = -\cos \alpha$$

$$\cos(270^\circ - \alpha) = -\sin \alpha$$

$$\operatorname{tg}(270^\circ - \alpha) = \operatorname{cotg} \alpha$$

$$\text{verschil hoeken} = 3 \times 90^\circ$$

$$\sin(270^\circ + \alpha) = -\cos \alpha$$

$$\cos(270^\circ + \alpha) = \sin \alpha$$

$$\operatorname{tg}(270^\circ + \alpha) = -\operatorname{cotg} \alpha$$

som hoeken = $4 \times 90^\circ$

$$\sin(360^\circ - \alpha) = -\sin \alpha$$

$$\cos(360^\circ - \alpha) = \cos \alpha$$

$$\operatorname{tg}(360^\circ - \alpha) = -\operatorname{tg} \alpha$$

verschil hoeken = $4k \times 90^\circ$

$$\sin(\alpha + k \cdot 360^\circ) = \sin \alpha$$

$$\cos(\alpha + k \cdot 360^\circ) = \cos \alpha$$

$$\operatorname{tg}(\alpha + k \cdot 360^\circ) = \operatorname{tg} \alpha$$

Negatieve hoeken

$$\sin(-\alpha) = -\sin \alpha$$

$$\cos(-\alpha) = \cos \alpha$$

$$\operatorname{tg}(-\alpha) = -\operatorname{tg} \alpha$$

2.4.4. Formules met twee hoeken

$$\sin(\alpha \pm \beta) = \sin \alpha \cos \beta \pm \cos \alpha \sin \beta$$

$$\cos(\alpha \pm \beta) = \cos \alpha \cos \beta \mp \sin \alpha \sin \beta$$

$$\operatorname{tg}(\alpha \pm \beta) = \frac{\operatorname{tg} \alpha \pm \operatorname{tg} \beta}{1 \mp \operatorname{tg} \alpha \cdot \operatorname{tg} \beta}$$

$$\operatorname{cotg}(\alpha \pm \beta) = \frac{\operatorname{cotg} \alpha \cdot \operatorname{cotg} \beta \mp 1}{\operatorname{cotg} \beta \pm \operatorname{cotg} \alpha}$$

$$\sin \alpha + \sin \beta = 2 \sin \frac{\alpha + \beta}{2} \cdot \cos \frac{\alpha - \beta}{2}$$

$$\sin \alpha - \sin \beta = 2 \cos \frac{\alpha + \beta}{2} \cdot \sin \frac{\alpha - \beta}{2}$$

$$\cos \alpha + \cos \beta = 2 \cos \frac{\alpha + \beta}{2} \cdot \cos \frac{\alpha - \beta}{2}$$

$$\cos \alpha - \cos \beta = -2 \sin \frac{\alpha + \beta}{2} \cdot \sin \frac{\alpha - \beta}{2}$$

$$\operatorname{tg} \alpha \pm \operatorname{tg} \beta = \frac{\sin(\alpha \pm \beta)}{\cos \alpha \cdot \cos \beta}$$

$$\operatorname{cotg} \alpha \pm \operatorname{cotg} \beta = \frac{\sin(\beta \pm \alpha)}{\sin \alpha \cdot \sin \beta}$$

$$2 \sin \alpha \cdot \sin \beta = \cos(\alpha - \beta) - \cos(\alpha + \beta)$$

$$2 \cos \alpha \cdot \cos \beta = \cos(\alpha - \beta) + \cos(\alpha + \beta)$$

$$2 \sin \alpha \cdot \cos \beta = \sin(\alpha + \beta) + \sin(\alpha - \beta)$$

$$2 \cos \alpha \cdot \sin \beta = \sin(\alpha + \beta) - \sin(\alpha - \beta)$$

2.4.5. Formules voor dubbele en halve hoek

$$\sin 2\alpha = 2 \sin \alpha \cos \alpha$$

$$\cos 2\alpha = \cos^2 \alpha - \sin^2 \alpha = 1 - 2 \sin^2 \alpha = 2 \cos^2 \alpha - 1$$

$$\operatorname{tg} 2\alpha = \frac{2 \operatorname{tg} \alpha}{1 - \operatorname{tg}^2 \alpha}; \operatorname{cotg} 2\alpha = \frac{\operatorname{cotg}^2 \alpha - 1}{2 \operatorname{cotg} \alpha}$$

$$\sin \frac{1}{2}\alpha = \pm \sqrt{\frac{1 - \cos \alpha}{2}}; \cos \frac{1}{2}\alpha = \pm \sqrt{\frac{1 + \cos \alpha}{2}}$$

$$\operatorname{tg} \frac{1}{2}\alpha = \frac{\sin \alpha}{1 + \cos \alpha} = \frac{1 - \cos \alpha}{\sin \alpha}$$

$\sin(n\alpha)$ en $\cos(n\alpha)$ zijn ook te berekenen met de stelling van De Moivre en met $\sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha = 1$

2.5. Analytische meetkunde

Rechte

Algemene vergelijking: $Ax + By + C = 0$ of $y = mx + n$

waarin:

$$m = \operatorname{tg} \alpha$$

α = hoek die de rechte maakt met de X-as

n = dat deel van de Y-as dat door de rechte wordt afgesneden

Rechte die delen a en b van X- en Y-as afsnijdt:

$$\frac{x}{a} + \frac{y}{b} = 1$$

Rechte door punt (x_1, y_1) met richtingscoëfficiënt m :

$$(y - y_1) = m (x - x_1)$$

Rechte door punten (x_1, y_1) en (x_2, y_2) :

$$\frac{y - y_1}{y_2 - y_1} = \frac{x - x_1}{x_2 - x_1}$$

Cirkel

Middelpuntsvergelijking (middelpunt in O ; straal r):

$$x^2 + y^2 = r^2$$

Cirkel met middelpunt $M(p, q)$ en straal r :

$$(x - p)^2 + (y - q)^2 = r^2$$

Raaklijn aan deze cirkel in punt (x_1, y_1) :

$$(x_1 - p)(x - p) + (y_1 - q)(y - q) = r^2$$

Parabool

Topvergelijking: $y^2 = 2px$

waarin: p = parameter;

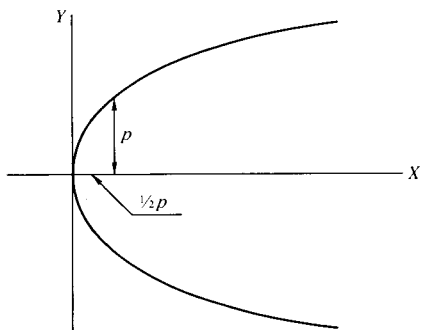
de as valt samen met de X-as.

Parabool met top in (a, b) en as // X-as:

$$(y - b)^2 = 2p(x - a)$$

Raaklijn aan deze parabool in punt (x_1, y_1) :

$$(y_1 - b)(y - b) = p(x + x_1 - 2a).$$



Ellips

Middelpuntsvergelijking (middelpunt in O)

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1$$

waarin a en b de halve assen zijn die *samenvallen* met de X -resp. Y -as.

Ellips met middelpunt (p,q) en halve assen *evenwijdig* aan de X en Y -as:

$$\frac{(x-p)^2}{a^2} + \frac{(y-q)^2}{b^2} = 1$$

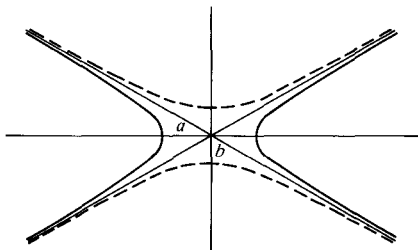
Raaklijn aan deze ellips in punt (x_1, y_1) ;

$$\frac{(x_1-p)(x-p)}{a^2} + \frac{(y_1-q)(y-q)}{b^2} = 1$$

Hyperbool

Middelpuntsvergelijking (middelpunt in O):

$$\frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2} = 1$$



Hyperbool met middelpunt (p,q) en halve assen evenwijdig aan X - en Y -as:

$$\frac{(x-p)^2}{a^2} - \frac{(y-q)^2}{b^2} = 1$$

Raaklijn aan deze hyperbool in (x_1, y_1) ;

$$\frac{(x_1-p)(x-p)}{a^2} - \frac{(y_1-q)(y-q)}{b^2} = 1$$

2.6. Differentiaal en integraalrekening

2.6.1. Gronddifferentiaalquotiënten

y	y'
c	0
$f(x)$	$f'(x)$
x	1
$a \pm bf(x)$	$\pm bf'(x)$
$\{f(x)\}^n$	$nf(x)^{n-1} \cdot f'(x)$
$\sin f(x)$	$\cos f(x) \cdot f'(x)$
$\cos f(x)$	$-\sin f(x) \cdot f'(x)$
$\operatorname{tg} f(x)$	$\frac{1}{\cos^2 f(x)} f'(x)$
$\operatorname{cotg} f(x)$	$\frac{-1}{\sin^2 f(x)} f'(x)$
${}^a\log f(x)$	$\frac{1}{f(x) \ln a} f'(x)$
$\ln f(x)$	$\frac{1}{f(x)} f'(x)$
$a^{f(x)}$	$a^{f(x)} \ln a \cdot f'(x)$
$e^{f(x)}$	$e^{f(x)} f'(x)$
$\arcsin f(x)$	$\frac{f'(x)}{\sqrt{1 - \{f(x)\}^2}}$
$\arccos f(x)$	$\frac{-f'(x)}{\sqrt{1 - \{f(x)\}^2}}$
$\operatorname{arctg} f(x)$	$\frac{f'(x)}{1 + \{f(x)\}^2}$
$\operatorname{arccotg} f(x)$	$\frac{-f'(x)}{1 + \{f(x)\}^2}$

De richtingscoëfficiënt van de raaklijn in een punt van een grafiek ($\text{tg } \alpha$) is gelijk aan de waarde van $f'(x)$ voor dat punt.

Als $f'(a) = 0$ heeft de grafiek van f in het algemeen een horizontale raaklijn in het punt $(a, f(a))$.

De grafiek van $f(x)$ heeft een buigpunt voor $x = p$ als f'' links en rechts van p een verschillende teken heeft.

Als $f'(x) > 0$ in open interval, dan stijgt grafiek $f(x)$ in dat interval.

Als $f'(x) < 0$ in open interval, dan daalt grafiek $f(x)$ in dat interval.

2.6.2. Integraalrekening

Partiële integratie

$$\int u \cdot dv = u \cdot v - \int v \cdot du$$

Onbepaalde grondintegralen*

$$\int x^n \cdot dx = \frac{1}{n+1} \cdot x^{n+1} + c$$

$$\int \frac{dx}{\sin^2 x} = -\cotg x + c$$

$$\int \frac{dx}{x} = \ln x + c$$

$$\begin{aligned} \int \frac{dx}{1+x^2} &= \text{arc tg } x + c \\ &= -\text{arc cotg } x + c \end{aligned}$$

$$\int a^x dx = \frac{a^x}{\ln a} + c$$

$$\begin{aligned} \int \frac{dx}{\sqrt{1-x^2}} &= \text{arc sin } x + c \\ &= -\text{arc cos } x + c_1 \end{aligned}$$

$$\int e^x \cdot dx = e^x + c$$

$$\int \cos x \cdot dx = \sin x + c$$

$$\int \sin x \cdot dx = -\cos x + c$$

$$\int \frac{dx}{\sin x} = \ln \text{tg } \frac{x}{2} + c$$

$$\int \frac{dx}{\cos^2 x} = \text{tg } x + c$$

$$\int \frac{dx}{\cos x} = \ln \text{tg} \left(\frac{\pi}{4} + \frac{x}{2} \right) + c$$

* Voor elk willekeurig geheel getal of breuk behalve voor $n = -1$;

dan geldt: $\int \frac{dx}{x}$

3. Statistiek

3.1. Verzamelingen

Het begrip verzameling wordt intuïtief bekend verondersteld. De objecten waaruit een verzameling bestaat, worden de elementen genoemd. De zin "Het object a is een (is geen) element van de verzameling A " wordt geschreven:

$$a \in A \quad (a \notin A)$$

De verzameling A is een deelverzameling van B als elk element van A ook tot B behoort (ook zegt men "B omvat A"). In symbolen:

$$A \subset B \quad (B \supset A)$$

Twee verzamelingen A en B zijn gelijk wanneer alle elementen van A tot B behoren en vice versa, zodat zowel $A \subset B$ als $B \subset A$. Dit wordt geschreven: $A = B$.

Bevat een verzameling géén elementen dan heet zij leeg. Het symbool hiervoor is $\emptyset$. Het totaal aan elementen dat beschouwd wordt, vormt de verzameling (de ruimte) Ω waarvan $A, B, \dots$ deelverzamelingen zijn. Specificatie van elementen waaruit een verzameling bestaat, vindt meestal plaats binnen accoladen. Vaak wordt tevens een algemeen symbool geïntroduceerd dat gebruikt wordt om een element uit juist dié verzameling aan te duiden. Voorbeeld:

$$A = \{ p: p = a, b, c \}$$

en dus: in het algemeen $p \in A$ en in het bijzonder $a, \dots, c \in A$.

De twee belangrijkste operaties op verzamelingen zijn:

$$C = A \cup B \quad (\text{vereniging})$$

De nieuwe verzameling C bevat alle elementen die tot minstens één van beide verzamelingen behoren, en:

$$C = A \cap B \quad (\text{doorsnede})$$

ook geschreven $C = AB$. De nieuwe verzameling C bevat alle elementen die zowel tot A als tot B behoren.

Hebben A en B geen elementen gemeen dan heten A en B disjunct en dan is $C = AB = \emptyset$ en is C dus de lege verzameling. We definiëren met $\bar{A}$ (resp. $\bar{B}$, $\bar{C}$) de verzamelingen

die alle elementen bevatten die *niet* tot A (resp. B, C) behoren en alleen die. De verzameling $A - B$ bevat die elementen die wél tot A maar níét tot B behoren en is gelijk aan $A\bar{B}$. Zo geldt dus $\bar{A} = \Omega - A$.

Regels van De Morgan:

$$\overline{A \cap B} = \bar{A} \cup \bar{B}$$

$$\overline{A \cup B} = \bar{A} \cap \bar{B}$$

waarin de aandacht gevestigd wordt op het wisselen van de operatoren $\cap$ en $\cup$.
Zij $\#(A)$ het aantal elementen dat in verzameling A voorkomt, dan geldt algemeen:

$$\#(A \cup B) = \#(A) + \#(B) - \#(A \cap B)$$

waarin de laatste term noodzakelijk is om te corrigeren op tellingen van elementen die zowel tot A als tot B behoren en in elk van de beide eerste twee termen (dus dubbel) worden meegeteld.

In de kansrekening worden voor "gebeurtenissen" analoge formuleringen gebruikt als voor verzamelingen. Dan wordt Ω gedefinieerd als *uitkomstenruimte* (verzameling van al de mogelijke uitkomsten bij een experiment) en $A, B, C, \dots \subset \Omega$ als *gebeurtenissen* (deelverzamelingen: te weten de voor een experiment gunstige uitkomsten).

3.2. Combinatie-rekening

Bij het bepalen van aantallen gebeurtenissen die kunnen optreden, kan met voordeel van formules uit de combinatie-rekening gebruik worden gemaakt.

Een *permutatie* is een rangschikking van een aantal elementen in een of andere volgorde. Het aantal mogelijke permutaties van n elementen bedraagt n faculteit, wat geschreven wordt: $n!$. Er geldt $n! = n(n-1)(n-2)\dots 3 \cdot 2 \cdot 1$. Zo is $6! = 6 \cdot 5 \cdot 4 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 1 = 720$ terwijl $1! = 1$ en per definitie $0! = 1$ (vergelijk $a^0 = 1$).

Een *combinatie* is een rangschikking van k elementen uit een aantal van n , waarbij de volgorde die ontstaat niet van belang is: er wordt geen permutatie van volgorden toegepast. Het aantal manieren waarop k elementen uit n elementen kunnen worden gekozen bedraagt:

$$\binom{n}{k} = \frac{n!}{k!(n-k)!} = \binom{n}{n-k}$$

Het symbool voor het aantal combinaties komt ook voor in het binomium van Newton:

$$(a + b)^n = \sum_{k=0}^n \binom{n}{k} a^k b^{n-k}$$

Het totaal aantal manieren waarop $0, 1, 2, \dots, k, \dots, n-1, n$ elementen uit n elementen kunnen worden gekozen, is:

$$\binom{n}{0} + \binom{n}{1} + \binom{n}{2} + \dots + \binom{n}{k} + \dots + \binom{n}{n-1} + \binom{n}{n}$$

wat gelijk is aan $(1 + 1)^n = 2^n$. Het totaal aantal mogelijke steekproeven van enigerlei grootte uit een populatie van 10 elementen bedraagt $2^{10} - 1$ aangezien het aantal manieren waarop niet gekozen wordt $\binom{n}{0} = 1$, hier niet relevant is.

3.3. Begrippen uit de statistiek

3.3.1. Stochastische variabele

In de praktijk verstaat men onder het begrip *stochastische variabele* een grootte die zijn waarde ontleent op grond van het optreden van toevallige omstandigheden. Ter onderscheiding van andere variabelen worden stochastische variabelen vaak onderstreept of met hoofdletters geschreven. Als uitkomst van een experiment kan een stochastische variabele een bepaalde waarde hebben aangenomen. Men spreekt dan van een realisatie:

$$\underline{k} = 10; \quad \underline{x} \leq x$$

De laatste uitdrukking moet gelezen worden: de stochastische variabele $\underline{x}$ heeft bij realisatie een waarde aangenomen zodanig dat een op dit moment nog niet gespecificeerde waarde x niet wordt overschreden. (In dit geval heet x wel de grens-, drempel- of kritieke waarde).

3.3.2. Kansverdelingen

Een stochastische variabele heet *discreet* wanneer deze eindig veel of aftelbaar veel waarden - ook wordt wel gezegd een aantal aanwijsbare waarden - kan aannemen. In de praktijk zijn dit vaak gehele getallen (aantallen) of afgeronde waarden van een continue variabele. Elk van de n aanwijsbare waarden k_i treedt dan op met kans $P(k_i) > 0$ terwijl $\sum_i P(k_i) = 1$. De kansverdeling (kansfunctie) wordt in dit geval discreet genoemd. De cumulatieve verdeling, met $k_1 < k_2 < \dots < k_j < \dots < k_n$ is dan

$$P(\underline{k} \leq k_j) = \sum_{i=1}^j P(\underline{k}_i)$$

Een stochastische variabele heet *continu* op een interval wanneer deze iedere waarde op dat interval kan aannemen. Nu geldt voor iedere afzonderlijke waarde x , géén interval vertegenwoordigend, dat $P(\underline{x} = x) = 0$, zodat het alleen zinvol is te spreken van onderdan wel overschrijdingskansen van een drempelwaarde x , resp. van kansen dat $\underline{x}$ in een interval van waarden zal vallen. De verdelingsfunctie wordt dan een continue verdeling genoemd. In de praktijk worden soms discrete stochastische variabelen onder geschikte voorwaarden als continue variabelen opgevat (verdeling van inkomens). Wanneer de kansdichtheid $f(x)$ (in de praktijk op te vatten als continue functie ter benadering van een histogram) gegeven is, dan worden onderschrijdingskansen berekend met de integraal:

$$P(\underline{x} \leq x) = \int_{-\infty}^x f(u) du = F(x) = p(x)$$

waarin de verschillende uitdrukkingen duiden op respectievelijk: "kans op" een waarde die de drempelwaarde x niet overschrijdt, integraal van de kansdichtheid, de cumulatieve verdelingsfunctie te weten de geïntegreerde kansdichtheid als functie van de drempelwaarde en de kans als functie van de drempelwaarde.

3.3.3. Populatie

Onder populatie verstaat men de verzameling van alle elementen (objecten) waaraan de te bestuderen eigenschap *kan* worden gemeten (waargenomen) en waarop de conclusies van het statistisch onderzoek betrekking zullen hebben. Een ondubbelzinnig voorschrift dat aangeeft of een element al of niet tot de populatie gerekend moet worden, is essentieel. Om de gedachten te bepalen, kunnen objecten en hun eigenschappen zijn:

Object	Eigenschap: x
Grondsoorten die voorkomen in een bepaald ruilverkavelingsblok	Lutumgehalte, kleur,
Neerslag	De om 08.00 uur op elke dag in januari te Wageningen afgetapte hoeveelheid
Te ondervragen personen uit een welomschreven groep	Antwoord op vraag 5 van een enquête,

3.3.4. Steekproef

Een steekproef is een deelverzameling uit een populatie, waaraan de te bestuderen eigenschap *wordt* gemeten (waargenomen). De elementen uit de populatie moeten gelijke kans hebben in de steekproef te worden opgenomen (a-selecte steekproef). De meetuitkomsten zelf treden echter niet noodzakelijkerwijs met gelijke kans op. Met behulp van statistische uitspraken worden uit de steekproef conclusies ten aanzien van de populatie getrokken (puntschatting en intervallschatting van parameters).

3.3.5. Uitkomstenruimte

De uitkomstenruimte Ω is de verzameling van al de mogelijk zijnde waarnemingsuitkomsten van een experiment. Voorbeeld:

Eigenschap: x	Uitkomstenruimte: Ω
Lutumgehalte	$[0,100]$ in procenten
Kleur	(kleuren van een kleurenkaart)
Neerslag	$[0, +\infty)$
Antwoord op vraag 5	$\{ja, nee\}$

3.3.6. Gebeurtenis

Gebeurtenissen vormen een deelverzameling van de uitkomstenruimte: de zogenaamde voor het onderzoek of een experiment gunstige of relevante uitkomsten. Een gebeurtenis treedt dus op wanneer aan een bepaalde voorwaarde is voldaan. Een gebeurtenis G treedt op wanneer een element x van de uitkomstenruimte Ω ($x \in \Omega$) tevens een element is van de deelverzameling G ($x \in G$). In deze terminologie is Ω de zekere gebeurtenis met $P(\Omega) = 1$. De onmogelijke gebeurtenis is de lege verzameling $\emptyset$ met $P(\emptyset) = 0$. Voorbeeld:

Uitkomstenruimte: Ω	Gebeurtenis $\underline{x} \in G \subset \Omega$
$[0,100]$ in procenten	$10 < \underline{x} < 15$ (%)
(kleuren van een kleurenkaart)	$\underline{x} = \text{lichtbruin}$
$[0, +\infty)$	$\underline{x} < 5$ mm
$\{ja, nee\}$	$\underline{x} = ja$

3.4. Kansrekening

3.4.1. Algemene opmerkingen

De kansrekening verschaft het mathematisch model om processen waarvan niet de gebeurtenissen (uitkomsten) zelf maar de frequentie van optreden ervan wel te voorspellen zijn, te bestuderen. Het geheel van kansen op de te onderscheiden elkaar uitsluitende elementaire gebeurtenissen bij eenzelfde experiment of onderzoek wordt aangeduid met de naam kansveld. Het toekennen van kansen (het kiezen van een kansveld) is géén onderdeel van de eigenlijke kansrekening. Deze houdt zich bezig met het werken (rekenen) met kansen, niet met het toekennen ervan aan elementaire gebeurtenissen. Het definiëren van een kansveld kan in principe op verschillende manieren plaatsvinden, bijvoorbeeld:

- door - naar redelijkheid - waarden te verzinnen;
- empirisch uit een grafische analyse (histogram, gebruik van kansschalen);
- door frequentiequotiënten uit een steekproef tot populatie-eigenschap te verklaren;
- door alle kansen op elementaire gebeurtenissen even groot te kiezen (symmetrie-beginsel);
- door een kansverdeling van een bekend type geldig te verklaren (normale verdeling, exponentiële verdeling, ...);
- door mathematisch een kansverdeling af te leiden uit model-aannamen.

Het *aantal elementen* in een steekproef dat een gevraagde eigenschap bezit, wat geconstateerd wordt doordat de gebeurtenis G optreedt, heet ook wel de absolute frequentie. De relatieve frequentie is dit aantal gedeeld door de grootte van de steekproef. Deze verhouding wordt ook wel de fractie met eigenschap G genoemd.

De *frequentieverdeling* is de functie die voor elk van de eigenschappen G aangeeft welke fractie van het aantal elementen de eigenschap bezit.

Met het begrip *kans* (refererend aan populaties) wordt het theoretisch analogon van het begrip relatieve frequentie (refererend aan steekproeven) aangeduid. De kansverdeling is dan de functie die aan een systeem van eigenschappen van een populatie, de erbij behorende kans op voorkomen toevoegt. Voorbeelden zijn:

Eigenschap: x	Kansuitspraak $P(x \in G) = p$
Lutumgehalte	$P(10 < x < 15) = 10\%$
Kleur	$P(\underline{x} = \text{lichtbruin}) = 62\%$
Neerslag	$P(\underline{x} < 5 \text{ mm}) = p$
Antwoord op vraag 5	$P(\underline{x} = \text{ja}) = 0,16$

3.4.2. Voorwaardelijke kansen

Wanneer A en B gebeurtenissen voorstellen dan is de voorwaardelijke kans op A , gegeven het optreden van B :

$$P(A|B) = \frac{P(AB)}{P(B)} \text{ met } P(B) > 0$$

Met verhoudingen tussen aantallen gebeurtenissen wordt dit:

$$P(A|B) = \frac{\#(AB) / \#(\Omega)}{\#(B) / \#(\Omega)} = \frac{\#(AB)}{\#(B)}$$

Voorwaardelijke kansen kunnen opgevat worden als "gewone" (absolute) kansen met gebeurtenissen gedefinieerd op de deelverzameling B in de voorwaarde. Deze speelt hier dan de rol van uitkomstenruimte. In het algemeen met $P(A) \neq P(B)$ is ook $P(A|B) \neq P(B|A)$.

3.4.3. De produktregel

$$P(AB) = P(A) \cdot P(B|A)$$

Wanneer de gebeurtenissen A en B stochastisch (onderling) onafhankelijk zijn, geldt:

$$P(AB) = P(A) \cdot P(B)$$

aangezien het optreden van B dan niet afhangt van het al dan niet optreden van A waardoor $P(B|A) = P(B)$.

3.4.4. De somregel

$$P(A \cup B) = P(A) + P(B) - P(AB)$$

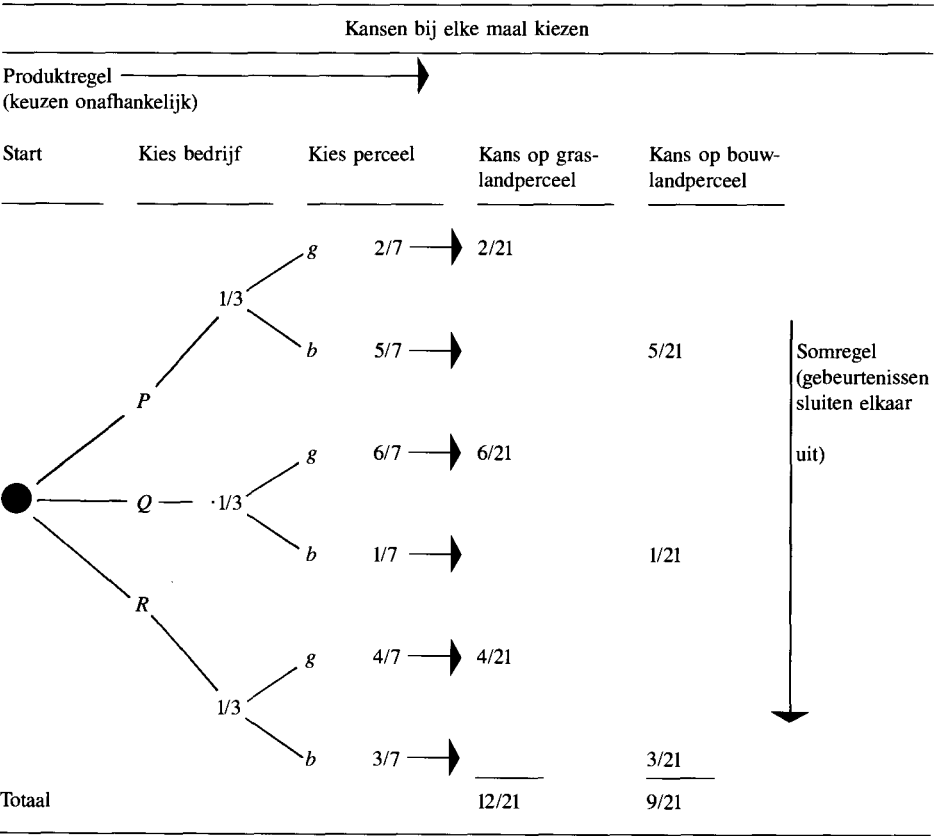
Wanneer de gebeurtenissen A en B elkaar uitsluiten geldt:

$$P(A \cup B) = P(A) + P(B)$$

aangezien dan $AB = \emptyset$ en $P(AB) = 0$ (onmogelijke gebeurtenis).

3.4.5. Produkt- en somregel gecombineerd

Een voorbeeld van het gecombineerd moeten toepassen van produkt- en somregel luidt: In een klein stroomgebied komen drie bedrijven voor (P , Q en R) met aantallen grasland-resp. bouwlandpercelen $(g,b) = (2,5)$, $(6,1)$ en $(4,3)$. Wanneer men voor het uitvoeren van een proef eerst willekeurig een bedrijf kiest en daarna willekeurig op dat bedrijf een perceel, dan wordt gevraagd naar de kans dat de proef op een grasland perceel zal worden uitgevoerd. Het volgende schema geeft de oplossing.



3.5. Beschrijvende statistiek

3.5.1. Karakteristieke waarden

In de beschrijvende statistiek worden verzamelde gegevens geordend en overzichtelijk samengevat zonder direct als eerste doelstelling meer algemene uitspraken te formuleren. Verschillende in gebruik zijnde karakteristieke grootheden of kengetallen kunnen als volgt worden gegroepeerd:

Gemiddelden

Met betrekking tot transformaties:

- Rekenkundig gemiddelde (geen transformatie)
- Meetkundig gemiddelde (log-transformatie)
- Harmonisch gemiddelde (reciproke-transformatie)

Met betrekking tot betrouwbaarheid:

- Gewogen gemiddelde

Met betrekking tot frequentie-verdelingen:

- Rekenkundig gemiddelde
- Mediaan
- Modus

Spreidingsmaten

Met betrekking tot frequentieverdelingen:

- Spreidingsbreedte
- Standaardafwijking

3.5.2. Rekenkundig gemiddelde

Het rekenkundig gemiddelde wordt gedefinieerd als:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \text{ of korter } \frac{1}{n} \sum_i x_i \text{ of } \frac{1}{n} \sum x_i$$

waarin n het totale aantal verzamelde gegevens voorstelt.

3.5.3. Meetkundig gemiddelde

Het meetkundig of geometrisch gemiddelde wordt gedefinieerd als:

$$\bar{x}_G = \sqrt[n]{(x_1 \cdot x_2 \cdot \dots \cdot x_n)} = \left(\prod_{i=1}^n x_i \right)^{1/n}$$

Dit gemiddelde wordt gebruikt voor het middelen van verhoudingen. Het is het rekenkundig gemiddelde van $y_i = \log x_i$ met $\bar{y} = \log \bar{x}_G$.

3.5.4. Harmonisch gemiddelde

Het harmonisch gemiddelde wordt gedefinieerd als:

$$\bar{x}_H = n \frac{1}{\sum \frac{1}{x_i}}$$

Dit gemiddelde wordt gebruikt voor het middelen van intensiteiten. Het is het rekenkundig gemiddelde van $y_i = 1/x_i$ met $\bar{y} = 1/\bar{x}_H$.

3.5.5. Gewogen gemiddelde

Het gewogen gemiddelde wordt gebruikt als niet alle waarden eenzelfde betrouwbaarheid hebben. Met gewichten g_i wordt het gemiddelde

$$\bar{x} = \frac{\sum g_i x_i}{\sum g_i}$$

Met relatieve gewichten $f_i = g_i/\sum g_i$ wordt het gemiddelde $\bar{x} = \sum f_i g_i$.

3.5.6. Mediaan

De mediaan x_{me} of het 50%-punt wordt gedefinieerd als de middelste waarde (als n oneven is) resp. als het gemiddelde van de beide waarden rond het midden (als n even is) van de naar opklimmende grootte gerangschikte verzamelde gegevens, zodat $\#(x \leq x_{me}) = \#(x \geq x_{me})$.

3.5.7. Modus

De modus x_{mo} is de waarde die met de grootste frequentie in de reeks verzamelde gegevens voorkomt. De klasse met de hoogste frequentie is de modale klasse. De modus hoeft niet te bestaan (alle frequenties gelijk) resp. er kunnen meer waarden als modus optreden.

3.5.8. Spreidingsbreedte

De spreidingsbreedte (w) is het verschil tussen grootste en kleinste waarde in de verzamelde reeks gegevens.

3.5.9. Standaardafwijking

De formule voor de standaardafwijking voor een reeks verzamelde gegevens die opgevat worden de gehele populatie te vormen, luidt:

$$s = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n}}$$

waarin $\bar{x}$ in deze opvatting het populatiegemiddelde is.

Voor het gebruik in computerprogramma's leent zich beter de volgende vorm:

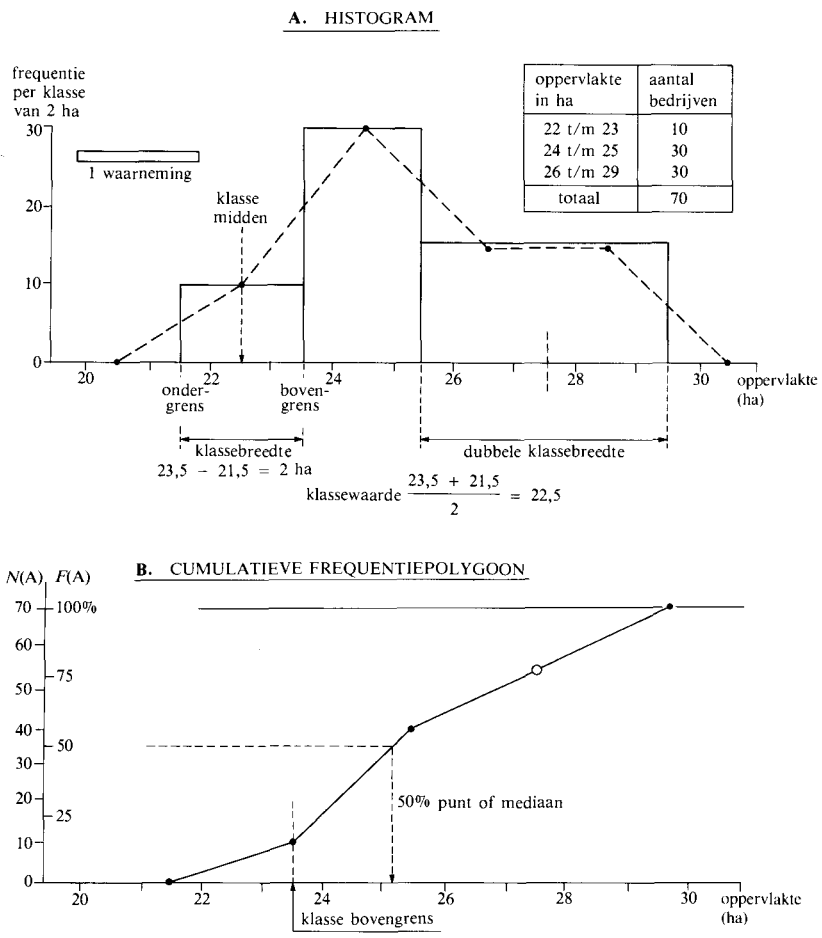
$$s = \sqrt{\frac{1}{n} \left\{ \sum x_i^2 - \frac{(\sum x_i)^2}{n} \right\}}$$

3.5.10. Histogrammen

Een lange reeks gegevens kan geschikt gecomprimeerd en overzichtelijk gemaakt worden door een indeling in klassen toe te passen. De klassegrenzen dienen zo gekozen te worden dat iedere waarneming ondubbelzinnig aan één bepaalde klasse kan worden toegewezen. Klassegrenzen moet men dus niet met waarnemingsuitkomsten laten samenvallen. Van voordeel is het de klassemiddens zoveel mogelijk gelijk te kiezen aan de waarnemingsuitkomsten. Het aantal klassen moet bij voorkeur niet veel kleiner zijn dan 10 en niet veel groter dan 20 worden gekozen. Een keuze, en daarmee ook de vorm van een histogram, blijft overigens altijd enigszins subjectief. Gekozen kan worden voor een aantal klassen ongeveer gelijk aan $\sqrt{n}$ ofwel: een klassebreedte $w/6$ ($n < 40$) of $w/\sqrt{n}$ ($40 < n < 400$) of $w/20$ ($n > 400$) met w gelijk aan de spreidingsbreedte. Klassebreedten worden daarna op handzame waarden afgerond.

Kiest men de klassebreedten variërend van grootte dan moet in rekening worden gebracht dat *het oppervlak* van elke rechthoek de grootte is die de frequentie weergeeft. Dus: basis maal hoogte en niet alléén de hoogte. Zie figuur 3.5.1.A. Het verdient aanbeveling de verticale as te benoemen met *frequentie per klasse-eenheid* of *frequentiedichtheid* - dat is frequentie gedeeld door klassebreedte - en deze te vermelden, of een rechthoekje met een oppervlak ter grootte van 1 waarneming in te tekenen. Bij kwalitatieve kenmerken is de kolomhoogte de enige van belang zijnde grootte. In deze gevallen tekent men de kolommen los van elkaar en even breed (staafdiagram).

Men kan de onderdelen van een histogram cumuleren en zodoende komen tot een cumulatieve frequentiepolygoon. Deze geeft altijd de frequentie waarmee de afgelezen waarde niet wordt overschreden (fig. 3.5.1.B).



Figuur 3.5.1. Histogram en cumulatieve frequentiepolygoon beschrijvende de verdeling van 70 landbouwbedrijven over verschillende oppervlakteklassen.

3.6. Populatie en steekproef

In de verklarende statistiek is het doel informatie te verkrijgen over een populatie. Deze informatie kan bestaan uit de waarde van de parameters van de kansverdeling van de populatie. De informatie verkrijgt men via een steekproef.

Twee belangrijke karakteristieken van een kansverdeling zijn:

populatiegemiddelde μ (evt. $\mu_{\underline{x}}$)

populatievariantie σ^2 (evt. $\sigma^2_{\underline{x}}$)

Men kan μ en σ^2 uitdrukken in de parameters van de functie voor de kansverdeling.

Uitgedrukt als verwachtingswaarde (E) van de stochastische variabele ($\underline{x}$):

populatiegemiddelde: $\mu = E(\underline{x})$

populatievariantie: σ^2 of $\text{var}(\underline{x}) = E(\underline{x} - \mu)^2$

Teneinde een uitspraak over μ en σ^2 te kunnen doen, neemt men een steekproef en berekent aan de hand van de realisaties waarden die een inzicht moeten geven in wat de werkelijke (populatie) gemiddelde en variantie zouden kunnen zijn. De formules hiervoor heten schatters; de uitkomsten worden schattingen genoemd. Gebruikt worden:

$\hat{\mu}$ (schatter voor μ): $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum x_i$ (steekproefgemiddelde)

$\hat{\sigma}^2$ (schatter voor σ^2): $s^2 = \frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}$ (steekproefvariantie)

De schattingen verschillen van steekproef tot steekproef wat aanleiding geeft de schatters als stochastische grootheden op te vatten met een verwachtingswaarde en een variantie.

De genoemde schatters hebben de eigenschap van "zuiverheid", aangezien bewezen kan worden dat $E(\bar{x}) = \mu$ en $E(s^2) = \sigma^2$.

Voor $\bar{x}$ geldt nog in het bijzonder $\mu_{\bar{x}} = \mu$ en $\sigma^2_{\bar{x}} = \sigma^2/n$.

Het is dus mogelijk $\sigma^2_{\bar{x}}$ klein te maken door n groot te nemen. Voor σ^2 is dit uiteraard niet mogelijk: gemiddelde en variantie zijn eigenschappen van het onderzochte fenomeen en zijn dus niet, afhankelijk van de wijze waarop steekproeven genomen worden, in grootte te beïnvloeden.

3.7. Regressie- en correlatierekening

3.7.1. Twee variabelen bij lineaire regressie

Modelaannamen bij lineaire regressie van y op x zijn (verwachting μ van y is nu afhankelijk van x , formeel):

$$E(y|x_i=x_i) = \alpha + \beta x_i = \mu(x_i), \quad i = 1, 2, \dots, n$$

met

$$\text{var}(y|x_i = x_i) = \sigma^2 \text{ voor alle } i$$

of (met y_i als korte notatie voor y bij gegeven x_i):

$$y_i = \alpha + \beta x_i + \varepsilon_i, \quad i = 1, 2, \dots, n$$

met $E(\varepsilon_i) = 0$ en $\text{var}(\varepsilon_i) = \sigma^2$, voor alle i . Voorts wordt onafhankelijkheid tussen de y_i 's aangenomen en wordt y_i normaal verdeeld verondersteld met parameters $\mu(x_i)$ en σ^2 , $i = 1, 2, \dots, n$.

Daartoe geëigende berekeningswijzen geven aan de hand van geordende paren meetuitkomsten (x_i, y_i) als simultane uitkomst schattingen voor α, β en σ^2 , namelijk de zuivere schatters met minimale variantie:

$$a = \bar{y} - b\bar{x}$$

$$b = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum (x_i - \bar{x})^2} = \frac{\sum x_i y_i - (\sum x_i \sum y_i)/n}{\sum x_i^2 - (\sum x_i \sum x_i)/n}$$

en gecorrigeerd op zuiverheid:

$$s^2 = \frac{1}{n-k} \sum (y_i - a - bx_i)^2,$$

met k (aantal geschatte parameters) = 2.

De beide eerste formules worden ook gevonden wanneer de som van kwadraten van afwijkingen tussen gemeten en berekende waarden (de residuen $\varepsilon_i = y_i - \alpha - \beta x_i$, $i = 1, 2, \dots, n$) worden geminimaliseerd als zogenaamd kleinste-kwadratenmodel. Voorwaarde:

$$S^2 = \sum \varepsilon_i^2 = \sum (y_i - \alpha - \beta x_i)^2 \text{ minimaal zodat}$$

$$\frac{\partial S^2}{\partial \alpha} = \frac{\partial S^2}{\partial \beta} = 0$$

Wordt in dit geval verder verondersteld dat $\text{cov}(\varepsilon_j, \varepsilon_j) = 0, \quad i \neq j$ (paarsgewijs ongecorreleerde residuen) dan zijn a en b zuivere (lineaire) schatters met minimale variantie. Het toetsen van hypothesen omtrent de parameterwaarden en het opstellen van betrouwbaarheidsintervallen kan zonder verdere aannamen omtrent kansverdelingen (zoals bij het regressiemodel) niet plaatsvinden.

3.7.2. Twee variabelen en hun correlatie

De correlatie $\rho_{\underline{x}, \underline{y}}$ tussen de stochastische variabelen $\underline{x}$ en $\underline{y}$ wordt gegeven door:

$$\rho_{\underline{x}, \underline{y}} = \frac{\text{cov}(\underline{x}, \underline{y})}{\sigma_{\underline{x}} \sigma_{\underline{y}}}$$

De covariantie wordt geschat met:

$$\text{c\ddot{o}v}(\underline{x}, \underline{y}) = \frac{1}{n-1} \sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})$$

en de correlatiecoëfficiënt met

$$r_{\underline{x}, \underline{y}} = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2} \cdot \sqrt{\sum (y_i - \bar{y})^2}}$$

met sommatie zoals gebruikelijk over $i = 1, \dots, n$.

Met b_x als regressiecoëfficiënt bij lineaire regressie van y op x en b_y analoog voor die van x op y , geldt ook:

$$r_{\underline{x}, \underline{y}} = \pm \sqrt{(b_x \cdot b_y)} \text{ met het teken van } b_x \text{ (of } b_y)$$

Steeds geldt $-1 \leq \rho \leq +1$ en $-1 \leq r \leq +1$. Voor ongecorreleerde stochastische variabelen geldt $\rho = 0$.

3.7.3. Varianties van schatters van regressiecoëfficiënten

De formules luiden:

$$\hat{y}_i = a + bx_i, \quad i = 1, 2, \dots, n$$

$$s^2 = \frac{\sum (y_i - \hat{y}_i)^2}{n-2} \quad \text{of} \quad \frac{1}{n-2} \sum (y_i - a - bx_i)^2$$

Varianties van de schatters $\underline{a}$ en $\underline{b}$ zijn:

$$s_{\underline{a}}^2 = \frac{s^2}{\sum (x_i - \bar{x})^2}$$

en

$$s_{\underline{b}}^2 = \frac{s^2 \sum x_i^2}{n \sum (x_i - \bar{x})^2}$$

De correlatie tussen de schatters bedraagt:

$$r_{ab} = \frac{-\bar{x}}{\sqrt{\frac{1}{n} \sum x_i^2}}$$

Voor $\bar{x} > 0$ wordt de helling β van de regressielijn te groot geschat wanneer het intercept α te klein wordt geschat en vice versa. De schatters zijn ongecorreleerd wanneer $x = 0$ (de lijn kan zwaaien met als scharnierpunt het intercept dat op zijn plaats blijft; het intercept kan variëren en de lijn door $(\bar{x}, \bar{y}) = (0, \bar{y})$ blijven gaan zonder dat dit de helling beïnvloedt).

Variantie van $\hat{y}$ bij gegeven $x = x_0$:

$$s_{\hat{y}}^2 = s^2 \left\{ \frac{1}{n} + \frac{(x_0 - \bar{x})^2}{\sum (x_i - \bar{x})^2} \right\}$$

Variantie van een voorspelde volgende onafhankelijke waarneming $\hat{y}_0$ bij $x = x_0$:

$$s_{\hat{y}_0}^2 = s^2 \left\{ 1 + \frac{1}{n} + \frac{(x_0 - \bar{x})^2}{\sum (x_i - \bar{x})^2} \right\}$$

Het linkerlid van beide laatste uitdrukkingen is minimaal voor $x_0 = \bar{x}$, waarmee:

$$s_{\hat{y}}^2 = \frac{s^2}{n} \quad \text{en} \quad s_{\hat{y}_0}^2 = \frac{n+1}{n} s^2$$

3.8. Kansverdeling

Enkele veel gebruikte kansverdelingen zullen hier in het kort worden besproken. Enkele in de literatuur voorkomende vuistregels voor de voorwaarden waaronder verdelingen in elkaar overgaan, worden gememoreerd; overigens blijven deze subjectief in hun toepasbaarheid. De voorbeelden van gebruik van de kansverdelingen zijn slechts suggesties. In de meeste gevallen zal er meer nodig zijn (toetsing, plausibel maken) om een verdeling in een specifiek geval van toepassing te kunnen verklaren.

3.8.1. Discrete verdelingen

De binomiale verdeling

Indien p de kans is dat een gebeurtenis G optreedt in een enkel experiment of gedurende een waarnemingsperiode (kans op succes), met $P(G) = p$, en $q = 1 - p$ de kans is dat G niet optreedt in dat enkele experiment (kans op mislukking), dan wordt de kans dat G precies k maal optreedt in n experimenten of waarnemingsperiodes gegeven door:

$$P(k = k \text{ successen}) = \binom{n}{k} p^k q^{n-k}, \quad k = 0, 1, 2, \dots, n$$

$$\text{verwachting: } E(k) = np$$

$$\text{variantie: } \text{var}(k) = npq$$

De verdeling nadert tot de normale verdeling, indien $n \rightarrow \infty$ en $npq \rightarrow \infty$. De verdeling nadert tot de Poisson-verdeling indien $n \rightarrow \infty$ en $np = \text{constant}$.

zuivere schatter van p :

$$\frac{k}{n} = \frac{\text{aantal successen}}{\text{aantal experimenten}}$$

zuivere schatter van de variantie σ^2 :

$$\frac{k(n-k)}{n-1}$$

De getransformeerde grootheid

$$\underline{u} = \frac{\underline{k} - np}{\sqrt{npq}}$$

volgt de normale verdeling met $\mu = 0$ en $\sigma^2 = 1$ in bruikbare benadering indien $npq > 4$ (of $np > 5$ en $nq > 5$) en in goede benadering indien $npq > 9$. Op $\underline{u}$ kan dan de tabel van de normale verdeling worden toegepast.

De binomiale verdeling kan door de Poisson-verdeling worden benaderd indien $n > 50$ en $p < 0,1$. Het aantal parameters reduceert dan van 2 (p en n) tot één (λ).

De Poisson-verdeling

De Poisson-verdeling is van toepassing wanneer de kans dat een gebeurtenis van het type van de binomiale verdeling optreedt klein is en het aantal waarnemingsperioden groot. Formeel luidt de voorwaarde als volgt.

Indien de kans p dat de gebeurtenis G optreedt klein is en het aantal experimenten of waarnemingsperioden groot is, zodanig dat $np = \lambda$ (eindig) dan nadert de binomiale verdeling met $n \rightarrow \infty$ tot

$$P(\underline{k} = k \text{ zeldzame gebeurtenissen}) = \frac{e^{-\lambda}}{k!} \lambda^k, k = 0, 1, 2, \dots$$

verwachting: $E(\underline{k}) = \lambda$

variantie: $\text{var}(k) = \lambda$

De verdeling nadert tot de normale, indien $\lambda \rightarrow \infty$

zuivere schatter van λ :

$$\frac{\sum k_i}{n}$$

De stochastische grootheid

$$\underline{u} = \frac{\underline{k} - \lambda}{\sqrt{\lambda}}$$

volgt de normale verdeling met $\mu = 0$ en $\sigma^2 = 1$ in bruikbare benadering indien $\lambda > 4$ en in goede benadering indien $\lambda > 9$. Op $\underline{u}$ kan dan de tabel van de normale verdeling worden toegepast.

3.8.2. Continue verdelingen

De uniforme verdeling

$$P(\underline{x} \leq x) = \frac{x - a}{b - a}$$

verwachting: $E(\underline{x}) = \frac{1}{2}(a + b)$

variantie: $\text{var}(\underline{x}) = \frac{(b - a)^2}{12}$

Deze verdeling (U) vindt toepassing bij het genereren van toevalsgetallen op een computer. Dan is veelal $b = 1$ en $a = 0$ en heet de verdeling een uniforme verdeling op het interval $(0, 1)$. Uit deze verdeling kunnen weer andere verdelingen worden afgeleid, onder andere vanwege het feit dat voor continue verdelingen geldt dat $P\{\underline{P} \leq P_0\}$ uniform verdeeld is op $[0, 1]$ met $\underline{P} = P(\underline{x} \leq x)$. Met een a-select getal $\underline{u}$ kan een trekking x worden gegenereerd uit een willekeurige verdelingsfunctie F wanneer $\underline{u}$ uniform op $[0, 1]$ verdeeld is. Kies namelijk x zodanig dat $u = F(x)$ of $x = F^{-1}(u)$.

De normale verdeling

Hydrologische grootheden bezitten vaak juist niet de eigenschap van normaal verdeeld zijn. De stochastische variabele $\underline{x}$ die normaal verdeeld is, is gedefinieerd op het interval $(-\infty, +\infty)$. Maar grootheden als verdamping, neerslag, afvoerhoeveelheid, ..., hebben een uitkomstenruimte $[0, +\infty)$. Toch kan de normale verdeling vaak met succes worden toegepast, nl. wanneer het gemiddelde groot is ten opzichte van de spreiding ($\mu \gg \sigma$). Theoretisch mogelijke negatieve waarden hebben dan zo'n kleine kans om nog lager uit te vallen, dat deze gebeurtenissen een kans op optreden hebben die de in de praktijk optredende waarde van $P(G) = 0$ voldoende nauwkeurig benaderen. Getoetst zal steeds moeten worden of de hypothese dat de verzamelde gegevens afkomstig gedacht kunnen worden van een normaal verdeelde populatie al of niet houdbaar is.

De formule voor de normale verdeling $N(\mu, \sigma^2)$ is:

$$P(\underline{x} \leq x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)^2} dt = F(x)$$

waarin t een dummy-variabele is en de kans een functie van de bovengrens van de integraal. De integraal valt niet in elementaire functies uit te drukken maar is uitvoerig getabelleerd. Zie voor een korte samenvatting van zo'n tabel, tabel 3.8.1 waarin

$$z = \frac{x - \mu}{\sigma}$$

met kansdichtheidsfunctie $\varphi(z)$.

Verwachting: $E(\underline{x}) = \mu$

Variantie: $\text{var}(\underline{x}) = \sigma^2$

Zuivere schatter van μ :

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

Zuivere schatter van σ^2 :

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}$$

Tabel 3.8.1. Enige belangrijke waarden van de normale verdeling waarin z een normaal verdeelde populatie is met verwachting 0 en variantie 1.

$P(\underline{z} \leq z) = \int_{-\infty}^z \varphi(t) \, dt = \Phi(z), \text{ (verdelingsfunctie)}$

functie:	z	$\varphi(z)$	$\Phi(z)$	$1-\Phi(z)$	$2[1-\Phi(z)]$	$2\Phi(z)-1$
integratie- grenzen voor $\varphi(t)$			$\int_{-\infty}^z$	$\int_z^{\infty}$	$\int_{-\infty}^{-z} + \int_z^{\infty}$	$\int_{-z}^z$
	,0	,3989	,5000	,5000	1,0000	,0000
	,2	,3910	,5793	,4207	,8415	,1585
	,4	,3683	,6554	,3446	,6892	,3108
	,6	,3332	,7257	,2743	,5485	,4515
	,8	,2897	,7881	,2119	,4237	,5763
	1,0	,2420	,8413	,1587	,3173	,6827
	1,2	,1942	,8849	,1151	,2301	,7699
	1,4	,1497	,9192	,0808	,1615	,8385
	1,6	,1109	,9452	,0548	,1096	,8904
	1,8	,0790	,9641	,0359	,0719	,9281
	2,0	,0540	,9772	,0228	,0455	,9545
	2,5	,0175	,9938	,0062	,0124	,9876
	3,0	,0044	,9987	,0013	,0027	,9973
	0,6745	,3178	75 %	25	50	50
	1,2816	,1755	90	10	20	80
	1,6449	,1031	95	5	10	90
	1,9600	,0548	97,5	2,5	5	95
	2,0537	,0484	98	2	4	96
	2,3263	,0267	99	1	2	98
	2,5758	,0145	99,5	0,5	1	99
	3,2905	,0018	99,95	0,05	0,1	99,9

De verdeling van extremen

Vaak is men geïnteresseerd in wat onder extreme omstandigheden aan gebeurtenissen kan worden verwacht. In deze gevallen spreekt men van verdeling van extremen waarbij in het cultuurtechnisch onderzoek veelal maxima bedoeld worden. Gedacht kan worden aan drukste dagen van bezoek aan recreatievoorzieningen in het zomerseizoen, maximum per decade aan te voeren hoeveelheid water in een jaar, grootste hoogte van afvoertoppen over winterperioden.

De kansverdeling van de extreme waarde $\underline{x}$ die per reeks optreedt in reeksen van onderlinge gelijke lengte, wordt gegeven door:

$$P(\underline{x} \leq x) = e^{-e^{-\alpha(x-u)}}$$

waarin u de modus van de verdeling is en $1/\alpha$ een spreidingsmaat.

Een praktische oplossing voor de parameters is gegeven door Gumbel en luidt:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad \text{en } s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}}$$

$$\alpha = \frac{\sigma_n}{s} \quad \text{en } u = \bar{x} - \frac{1}{\alpha} \cdot \bar{y}_n$$

waarin n het aantal waarden in de steekproef van extremen voorstelt en σ_n en $\bar{y}_n$ getabelde waarden zijn (zie tabel 3.8.2).

Een theoretisch beter gefundeerde methode (maximum likelihood) berust op het oplossen van het stelsel vergelijkingen:

$$u = \frac{1}{\alpha} \ln \frac{n}{\sum_{i=1}^n e^{-\alpha x_i}}$$

en

$$\frac{1}{\alpha} = \bar{x} - \frac{\sum_{i=1}^n x_i e^{-\alpha x_i}}{\sum_{i=1}^n e^{-\alpha x_i}}$$

welke laatste vergelijking iteratief opgelost moet worden naar α .

Als functie van de herhalingsperiode T zijn de drempelwaarden van x :

$$x(T) = u - \frac{1}{\alpha} \ln \left\{ -\ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right\}$$

Tabel 3.8.2. Theoretische waarden voor $\bar{y}_n$ en σ_n voor de gereduceerde variabele $y = \alpha (x-u)$ in Gumbels verdeling.

n	$\bar{y}_n$	σ_n	n	$\bar{y}_n$	σ_n	n	$\bar{y}_n$	σ_n	n	$\bar{y}_n$	σ_n
0	-	-	50	,548.542	1,160.661	100	,560.023	1,206.489	225	,568.047	1,239.775
1	,366.513	,000.000	51	,548.947	1,162.257	101	,560.152	1,207.013	230	,568.205	1,240.451
2	,404.336	,498.384	52	,549.339	1,163.804	102	,560.279	1,207.528	235	,568.358	1,241.102
3	,428.593	,643.483	53	,549.719	1,165.305	103	,560.404	1,208.036	240	,568.505	1,241.731
4	,445.801	,731.470	54	,550.087	1,166.760	104	,560.527	1,208.535	245	,568.646	1,242.338
5	,458.794	,792.778	55	,550.445	1,168.173	105	,560.647	1,209.027	250	,568.783	1,242.924
6	,469.032	,838.765	56	,550.792	1,169.546	106	,560.766	1,209.511	255	,568.915	1,243.492
7	,477.353	,874.926	57	,551.128	1,170.880	107	,560.883	1,209.987	260	,569.042	1,244.040
8	,484.278	,904.321	58	,551.456	1,172.176	108	,560.998	1,210.487	265	,569.166	1,244.571
9	,490.151	,928.816	59	,551.774	1,173.438	109	,561.112	1,210.919	270	,569.285	1,245.086
10	,495.207	,949.625	60	,552.084	1,174.665	110	,561.223	1,211.374	275	,569.400	1,245.585
11	,499.614	,967.580	61	,552.385	1,175.860	111	,561.333	1,211.823	280	,569.512	1,246.068
12	,503.498	,983.270	62	,552.678	1,177.024	112	,561.441	1,212.265	285	,569.621	1,246.538
13	,506.951	,997.127	63	,552.963	1,178.158	113	,561.548	1,212.700	290	,569.726	1,246.993
14	,510.045	1,009.478	64	,553.241	1,179.263	114	,561.653	1,213.129	295	,569.828	1,247.436
15	,512.836	1,020.571	65	,553.512	1,180.341	115	,561.756	1,213.552	300	,569.926	1,247.866
16	,515.369	1,030.603	66	,553.776	1,181.392	116	,561.858	1,213.969	310	,570.116	1,248.691
17	,517.680	1,039.730	67	,554.034	1,182.418	117	,561.958	1,214.381	320	,570.295	1,249.472
18	,519.798	1,048.076	68	,554.285	1,183.420	118	,562.057	1,214.786	330	,570.464	1,250.213
19	,521.749	1,055.746	69	,554.530	1,184.398	119	,562.155	1,215.186	340	,570.625	1,250.916
20	,523.552	1,062.822	70	,554.770	1,185.353	120	,562.251	1,215.580	350	,570.777	1,251.586
21	,525.224	1,069.377	71	,555.004	1,186.287	122	,562.439	1,216.353	360	,570.922	1,252.224
22	,526.779	1,075.470	72	,555.232	1,187.199	124	,562.623	1,217.105	370	,571.060	1,252.832
23	,528.231	1,001.152	73	,555.455	1,188.091	126	,562.801	1,217.837	380	,571.192	1,253.413
24	,529.590	1,086.464	74	,555.673	1,188.964	128	,562.974	1,218.550	390	,571.317	1,253.969
25	,530.864	1,091.446	75	,555.887	1,189.818	130	,563.143	1,219.245	400	,571.437	1,254.501
26	,532.062	1,096.128	76	,556.095	1,190.653	132	,563.307	1,219.923	410	,571.552	1,255.010
27	,533.191	1,100.539	77	,556.299	1,191.471	134	,563.467	1,220.584	420	,571.662	1,255.499
28	,534.257	1,104.703	78	,556.499	1,192.272	136	,563.624	1,221.229	430	,571.767	1,255.969
29	,535.266	1,108.641	79	,556.695	1,193.056	138	,563.776	1,221.858	440	,571.868	1,256.420
30	,536.221	1,112.374	80	,556.886	1,193.824	140	,563.924	1,222.473	450	,571.965	1,256.854
31	,537.128	1,115.917	81	,557.073	1,194.577	142	,564.069	1,223.073	460	,572.059	1,257.272
32	,537.990	1,119.285	82	,557.257	1,195.315	144	,564.211	1,223.659	470	,572.148	1,257.675
33	,538.811	1,122.493	83	,557.437	1,196.038	146	,564.349	1,224.232	480	,572.235	1,258.064
34	,539.593	1,125.552	84	,557.613	1,196.747	148	,564.484	1,224.792	490	,572.318	1,258.438
35	,540.340	1,128.472	85	,557.786	1,197.443	150	,564.616	1,225.340	500	,572.398	1,258.800
36	,541.053	1,131.265	86	,557.955	1,198.126	155	,564.932	1,226.657	525	,572.587	1,259.653
37	,541.736	1,133.937	87	,558.121	1,198.795	160	,565.232	1,227.906	550	,572.761	1,260.439
38	,542.390	1,136.498	88	,558.284	1,199.453	165	,565.516	1,229.092	575	,572.920	1,261.167
39	,543.018	1,138.955	89	,558.444	1,200.098	170	,565.785	1,230.219	600	,573.068	1,261.841
40	,543.620	1,141.315	90	,558.601	1,200.731	175	,566.041	1,231.292	650	,573.333	1,263.056
41	,544.198	1,143.582	91	,558.755	1,201.353	180	,566.285	1,232.316	700	,573.564	1,264.120
42	,544.754	1,145.764	92	,558.906	1,201.964	185	,566.517	1,233.293	750	,573.767	1,265.061
43	,545.289	1,147.865	93	,559.055	1,202.564	190	,566.739	1,234.227	800	,573.947	1,265.899
44	,545.805	1,149.890	94	,559.201	1,203.154	195	,566.951	1,235.121	850	,574.108	1,266.651
45	,546.302	1,151.843	95	,559.344	1,203.734	200	,567.153	1,235.977	900	,574.253	1,267.331
46	,546.781	1,153.728	96	,559.484	1,204.304	205	,567.347	1,236.799	950	,574.383	1,267.948
47	,547.244	1,155.549	97	,559.623	1,204.864	210	,567.533	1,237.587	1000	,574.502	1,268.511
48	,547.691	1,157.310	98	,559.758	1,205.414	215	,567.711	1,238.345			
49	,548.124	1,159.012	99	,559.892	1,205.956	220	,567.883	1,239.074	inf.	,577.216	1,282.550

De negatief-exponentiële verdeling

Waterhoogten kunnen vaak goed geanalyseerd worden met behulp van de negatief-exponentiële verdeling. De formule luidt:

$$P(\underline{x} > x) = e^{-\lambda (x - x_0)}, \text{ waarin } \underline{x} > x_0.$$

De parameter λ hangt in theorie niet van de keuze van x_0 af, wat als praktisch voordeel heeft dat een willekeurige waarde als referentiepunt gekozen kan worden.

$$\text{Verwachting: } E(\underline{y}) = E(\underline{x} - x_0) = \frac{1}{\lambda}$$

$$\text{Variantie: } \text{var}(\underline{y}) = \frac{1}{\lambda^2}$$

$$\text{Zuivere schatter van } \lambda: \frac{n-1}{\sum_{i=1}^n y_i}$$

Een vaak gebruikte analysemethode is het nemen van de logaritme zodat $\ln P = -\lambda(x - x_0)$, wat op enkelzijdig logaritmisch papier een rechte lijn oplevert met beginpunt $(x_0, 1)$ en met negatieve helling groot $-\lambda$.

3.8.3. Steekproefverdelingen

De in 3.8.1 en 3.8.2 vermelde kansverdelingen kunnen beschouwd worden als verdelingen waarmee kansen op optreden van in het cultuurtechnisch onderzoek voorkomende gebeurtenissen kunnen worden beschreven. De twee volgende verdelingen vinden hun toepassing bij het construeren van betrouwbaarheidsintervallen en bij het uitvoeren van statistische toetsen.

De t-verdeling

De verhouding tussen een normaal verdeelde variabele met verwachting nul en een onafhankelijke schatting van zijn spreiding, heeft een t -verdeling.

Indien $\underline{x}$ normaal verdeeld is met parameters (μ, σ^2) dan is $\underline{z} = (\underline{x} - \mu)/\sigma$ normaal verdeeld met $(0, 1)$ als parameters. De variabele $\bar{\underline{x}}$ is dan normaal verdeeld met $(\mu, \sigma^2/\bar{n}) = (u, \sigma^2/n)$ zodat $(\bar{\underline{x}} - \mu)$ verdeeld is met als parameters $(0, \sigma^2/n)$. Wordt σ^2/n uit dezelfde steekproef geschat met s^2/n dan volgt de getransformeerde variabele $\underline{t} = (\bar{\underline{x}} - \mu) \cdot \sqrt{\bar{n}}/s$ de zogenaamde Student- of t -verdeling met $\nu = n - 1$ vrijheidsgraden.

Van de t_ν -verdeling komen in de statistische handboeken tabellen voor.

Verwachting: $E(\underline{t}_\nu) = 0, \nu > 1$

Variantie: $\text{var}(\underline{t}_\nu) = \frac{\nu}{\nu - 2}, \nu > 2$

Voor grote steekproeven ($\nu > 30$) is gebruik van de normale verdeling veelal voldoende nauwkeurig.

De chi-kwadraatverdeling

Een van de wijzen van gebruik van de chi-kwadraatverdeling is ten behoeve van het toetsen of de empirisch vastgestelde frequenties van in klassen ingedeelde grootheden geacht kunnen worden van een gespecificeerde verdeling (discreet dan wel continu) afkomstig te kunnen zijn.

Wanneer van n gebeurtenissen geconstateerd is dat deze een aantal malen O_i (observed absolute frequency) in klasse i ($i = 1, 2, \dots, k$) is opgetreden terwijl volgens theoretische overwegingen verwacht wordt dat dit aantal malen E_i (expected absolute frequency) is, dan kan de verdeling van de volgende uitdrukking

$$\sum_{i=1}^k \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \quad \text{met} \quad \sum_{i=1}^k O_i = \sum_{i=1}^k E_i = n$$

benaderd worden door de chi-kwadraatverdeling met $\nu = k - 1$ vrijheidsgraden. Indien de E_i bepaald zijn op grond van een kansverdeling waarvoor p parameters uit dezelfde steekproef zijn geschat dan is $\nu = k - 1 - p$. De benadering is verantwoord wanneer $k > 5$ (soms wordt opgegeven $k \geq 2$) en $E_i > 5$. Wordt aan het laatste niet voldaan dan kunnen klassen worden samengevoegd.

Verwachting: $E(\chi_\nu^2) = \nu$

Variantie: $\text{var}(\chi_\nu^2) = 2\nu$

3.9. Toepassingen

3.9.1. Histogrammen

Histogrammen worden gebruikt voor het compact weergeven van verzamelde gegevens wanneer het zinvol is deze in klassen in te delen. De keuze van het aantal klassen kan in sterke mate invloed hebben op de gedaante van het histogram. Histogrammen worden ook vaak vervaardigd om een indruk te krijgen over het type kansverdeling dat men zou moeten gebruiken om de populatie te karakteriseren. In plaats van de geconstateerde aantallen waarnemingen per klasse (absolute frequenties) worden dan relatieve frequenties gebruikt door het aantal waarnemingen op 100 te herleiden.

3.9.2. Kansschalen

Voor het verkrijgen van een indicatie van de gedaante van de kansverdeling waarmee gebeurtenissen die men in onderzoek heeft optreden, wordt ook wel gebruik gemaakt van kansschalen (waarschijnlijkheids-papier). Deze schalen hebben de eigenschap de kansverdeling die eraan ten grondslag ligt als een rechte af te beelden. Bekend zijn: normaal waarschijnlijkheids-papier waarvan één van de assen getransformeerd is via de onderschrijdingskansen van een standaard-normaal verdeelde grootte; de exponentiële verdeling waarbij de logaritme van de overschrijdingskans de te gebruiken kansschaal is; de verdeling van extreme waarden (Gumbel-papier) waarbij, steeds na vermenigvuldiging met -1 , de dubbellogaritme van de onderschrijdingskans genomen moet worden. Zijn de gegevens beschikbaar als een naar orde van grootte opklimmende reeks dan wordt aan elk punt x_i een cumulatieve frequentie (plotting position) toegekend, berekend met de formule $i/(n + 1)$

3.9.3. Voorbeeld van gebruik

Aan een object zijn, op nogal grove wijze, metingen verricht. Men wil nagaan of de op deze wijze verkregen uitkomsten afkomstig kunnen zijn van een normaal verdeelde populatie.

De gegevens x_i , afgerond op eenheden, staan vermeld in tabel 3.9.1; het bijbehorend histogram is gegeven in figuur 3.9.1. De kolommen in de tabel hebben betrekking op: het rangnummer i van de meetuitkomst, de meetuitkomst x_i en de absolute frequentie f_i waarmee deze is voorgekomen. Gemiddelde en variantie zijn geschat met de schatters:

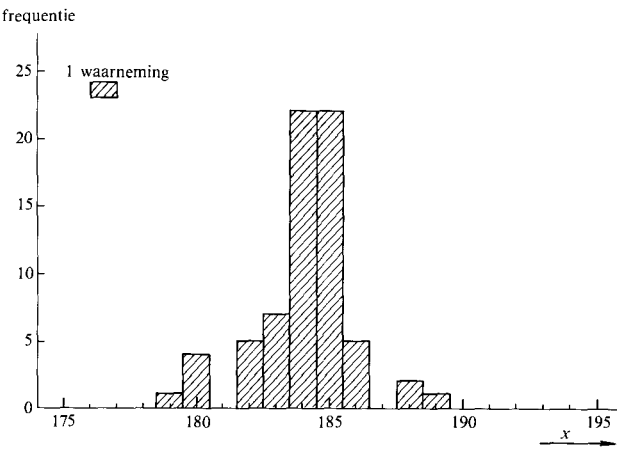
$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_i f_i x_i \quad \text{en} \quad s^2 = \frac{\sum_i f_i x_i^2 - \frac{(\sum_i f_i x_i)^2}{n}}{n-1}$$

met $\frac{(\sum_i f_i x_i)^2}{n}$ als correctieterm C om de kwadraatsom van de metingen zelf te herleiden op $\sum_i f_i (x_i - \bar{x})^2$. De berekeningen zijn verzameld in tabel 3.9.2.

Ten slotte bevat tabel 3.9.1 de cumulatieve frequenties in absolute zin (kolom 6) en in relatieve zin (kolom 7). De waarden uit kolom (2) en kolom (7) (plotting positions) kunnen worden gebruikt voor het tekenen van de empirische frequentieverdeling (trapfunctie in figuur 3.9.2). Deze laatste kan men trachten te benaderen door een normale verdeling. In tabel 3.9.2 zijn hiertoe vijf waarden $\bar{x} + ks$, $k = -2, -1, 0, +1, +2$ gebruikt die op het gekozen waarschijnlijkheidspapier de bijbehorende normale verdeling als een rechte afbeeldt. De grafische vergelijking geeft echter geen objectieve beoordeling over het succes van de aanpassing.

Tabel 3.9.1. Waarnemingen x_i verricht aan een object, gerangschikt in volgorde van grootte onder vermelding van de frequentie van voorkomen.

i	x_i	f_i	$f_i x_i$	$f_i x_i^2$	cumulat.freq. abs	%
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
1	177	-	-	-	0	0
2	178	-	-	-	0	0
3	179	1	179	32.041	1	1,4
4	180	4	720	129.600	5	7,1
5	181	-	-	-	5	7,1
6	182	5	910	165.620	10	14,3
7	183	7	1.281	234.423	17	24,3
8	184	22	4.048	744.832	39	55,7
9	185	22	4.070	752.950	61	87,1
10	186	5	930	172.980	66	94,3
11	187	-	-	-	66	94,3
12	188	2	376	70.688	68	97,1
13	189	1	189	35.721	69	98,6
14	190	-	-	-	69	98,6
		69	12.703	2.338.855	70	100
		n	$\Sigma_i f_i x_i$	$\Sigma_i f_i x_i^2$	$n + 1$	%



Figuur 3.9.1. Histogram van de gegevens vermeld in tabel 3.9.1.

Tabel 3.9.2. Schatting van gemiddelde en variantie op basis van de steekproef gegeven in tabel 3.9.1.

$$\bar{x} = \frac{\sum_i f_i x_i}{n} = \frac{12.703}{69} = 184,10$$
$$s^2 = \frac{\sum_i f_i x_i^2 - C}{n-1} \text{ met } C = \frac{(\sum_i f_i x_i)^2}{n} = \frac{(12.703)^2}{69} = 2.338.640,5$$

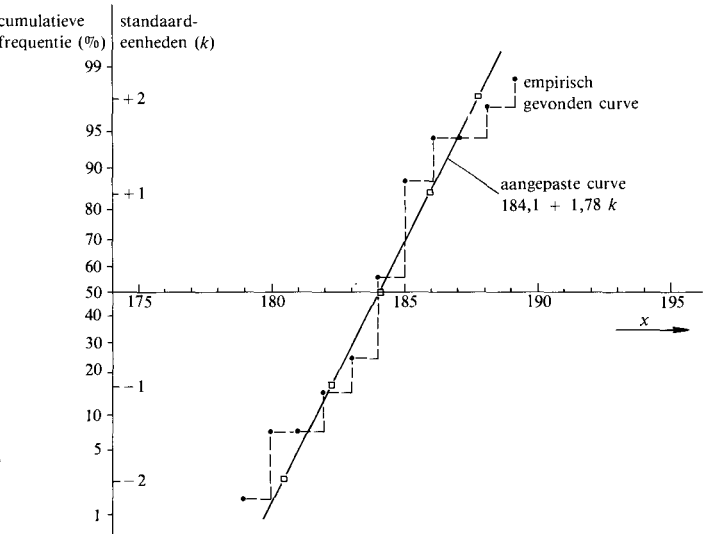
$\sum_i f_i x_i^2$	$= 2.338.855$
C	$= 2.338.640,5$
$\sum_i f_i (x_i - \bar{x})^2$	$= 214,5$

$$s^2 = \frac{214,5}{68} = 3,15$$

standaardafwijking

$s = 1,78$

$$\bar{x} + ks = \dots$$
$$\bar{x} - 2s = 180,54$$
$$\bar{x} - s = 182,32$$
$$\bar{x} = 184,10$$
$$\bar{x} + s = 185,88$$
$$\bar{x} + 2s = 187,66$$



Figuur 3.9.2. Cumulatieve frequentie-curve (trapfunctie) verkregen uit tabel 3.9.1 en aangepaste normale verdeling op basis van de uitkomsten in tabel 3.9.2.

3.9.4. A-selectie getallen

Bij onderzoeken met modellen kan men gebruik maken van a-selectie getallen (toevalsgetallen, willekeurige getallen) om kansprocessen na te bootsen. Voorbeelden: het aantal fietsers dat per tijdseenheid een bepaald meetpunt passeert; keuze van de bedrijven die in een modelberekening in een gegeven jaar in een gebied verlaten worden, simulatie van meetfouten, en dergelijke.

Computersystemen bevatten vaak instructies waarmee (pseudo)toevalsgetallen kunnen worden gegenereerd. Veelal trekt de routine *willekeurig* op het interval (0,1). Met de transformatie:

$$\underline{x}_1 = \mu + \sigma \sqrt{-2 \ln \underline{u}_1} \cos (2\pi \underline{u}_2)$$

en

$$\underline{x}_2 = \mu + \sigma \sqrt{-2 \ln \underline{u}_1} \sin (2\pi \underline{u}_2)$$

worden uit twee stochastisch onafhankelijke trekkingen $\underline{u}_1$ en $\underline{u}_2$ uit een uniforme verdeling op (0,1) twee stochastisch onafhankelijke trekkingen $\underline{x}_1$ en $\underline{x}_2$ uit een normale verdeling met verwachting μ en variantie σ^2 verkregen. Verschillende runs met computerprogramma's zullen nu "nooit" tot eenzelfde resultaat leiden. In de testfase kan dit hinderlijk zijn. Men moet dus:

- in de testfase de waarde waarmee de "toevalsgenerator" opgestart wordt, constant houden;
- in de productiefase de startwaarde steeds variëren door deze bijvoorbeeld van datum en tijdstip van draaien van het programma te laten afhangen.

3.9.5. Binomiale verdeling

De binomiale verdeling geeft inzicht in de kans van optreden van aantallen hydrologische gebeurtenissen binnen een reeks nieuwe situaties. Veelal heeft zo'n reeks de dimensie van tijd, bijvoorbeeld aantal jaren. De herhalingsperiode T , behorend bij een welomschreven gebeurtenis, is de lengte van een reeks stochastisch onafhankelijke uitkomsten, dusdanig groot dat daarin de gebeurtenis gemiddeld eenmaal optreedt. Met gegevens verzameld per jaar wordt T uitgedrukt in jaren. In de terminologie van de binomiale verdeling heet het optreden van de gebeurtenis een succes. Is de gebeurtenis een overschrijding dan is

$$T = \frac{1}{p} = \frac{1}{P(\underline{x} > x)} = \frac{1}{1 - P(\underline{x} \leq x)}$$

Hiermee wordt voor de binomiale verdeling verkregen:

$$P(\underline{k} = k | T, n) = \binom{n}{k} \left(\frac{1}{T}\right)^k \left(\frac{T-1}{T}\right)^{n-k}$$

wat de kans is dat precies k gebeurtenissen die een herhalingsperiode T hebben binnen een reeks ter lengte n zullen optreden.

Bijvoorbeeld leest men uit tabel 3.9.3 af dat, indien een overschrijding gemiddeld eens per $T = 2$ jaar zal plaatsvinden, de kans $P = 11,72\%$ is dat in de eerstkomende 10 jaar dit aantal $k = 7$ is (wat ook de kans op $k = 3$ is).

Aan tabel 3.9.4. ontlene n we dat indien een overschrijding *gemiddeld* eens per $T = 10$ jaar plaatsvindt er een kans $100 - 34,87 = 65,13\%$ is dat in de eerstkomende $n = 10$ jaar er ten minste één ($k \geq 1$) plaatsvindt.

Tabel 3.9.3. De binomiale verdeling met $P(k = k)$ in procenten en herhalingsperiode $T = 1/p$ gelijk aan 2 en 5.

k	$T = 2$			$T = 5$		
	$n = 2$	$n = 5$	$n = 10$	$n = 5$	$n = 10$	$n = 15$
0	25,00	3,12	0,10	32,78	10,74	3,52
1	50,00	15,62	0,98	40,96	26,84	13,19
2	25,00	31,25	4,39	20,48	30,20	23,09
3	-	31,25	11,72	5,12	20,13	25,01
4	-	15,63	20,51	0,64	8,81	18,76
5	-	3,13	24,61	0,03	2,64	10,31
6	-	-	20,51	-	0,55	4,30
7	-	-	11,72	-	0,08	1,38
8	-	-	4,39	-	0,01	0,35
9	-	-	0,98	-	0,00	0,07
10	-	-	0,10	-	0,00	0,01
15	-	-	-	-	-	0,00

Tabel 3.9.4. Als tabel 3.9.3, maar nu voor $T = 10, 25, 50$.

k	$T = 10$			$T = 25$		$T = 50$	
	$n = 10$	$n = 20$	$n = 25$	$n = 25$	$n = 50$	$n = 50$	$n = 100$
0	34,87	12,16	7,18	36,04	12,99	36,42	13,26
1	38,74	27,02	19,94	37,54	27,06	37,16	27,07
2	19,37	28,52	26,59	18,77	27,62	18,58	27,34
3	5,74	19,01	22,65	6,00	18,42	6,07	18,23
4	1,12	8,98	13,84	1,37	9,02	1,45	9,02
5	0,15	3,19	6,46	0,24	3,46	0,27	3,53
6	0,01	0,89	2,39	0,03	1,08	0,04	1,14
7	0,00	0,20	0,72	0,00	0,28	0,01	0,31
8	0,00	0,04	0,18	0,00	0,06	0,00	0,07
9	0,00	0,00	0,04	0,00	0,01	0,00	0,02
10	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
15	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
20	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

3.9.6. Intervalschattingen

Puntschattingen van populatie-parameters zijn zelf weer stochastische grootheden met een verwachtingswaarde en een variantie. Hierdoor geeft men vaak de voorkeur aan intervalschattingen boven het gebruik van puntschattingen. De kans α dat zo'n interval I_b de (onbekende) populatie-parameter niet overdekt, wordt gelijk gekozen aan een kleine waarde. Conventioneel zijn $\alpha = 1, 5$ of 10% . Dit geeft dan een betrouwbaarheidsinterval met betrouwbaarheid $(1 - \alpha)$. In het algemeen $P\{\mu \in I_b(\bar{x})\} = 1 - \alpha$. Voor een normaal verdeelde populatie geldt, indien σ onbekend is, voor een tweezijdig symmetrisch betrouwbaarheidsinterval:

$$P\left(\bar{x} + \frac{s}{\sqrt{n}} t_{1/2\alpha, \nu} < \mu < \bar{x} + \frac{s}{\sqrt{n}} t_{1-1/2\alpha, \nu}\right) = 1 - \alpha$$

en wanneer σ bekend is:

$$P\left(\bar{x} + \frac{\sigma}{\sqrt{n}} t_{1/2\alpha, \infty} < \mu < \bar{x} + \frac{\sigma}{\sqrt{n}} t_{1-1/2\alpha, \infty}\right) = 1 - \alpha$$

waarin $t_{\alpha, \nu}$ grenswaarden van de t -verdeling met ν vrijheidsgraden zijn. In het bovenstaande geval is $\nu = n - 1$. Waarden van $t_{\alpha, \nu}$ worden gegeven in tabel 3.9.5.

Een 90%-betrouwbaarheidsinterval is minder breed dan een 95%-interval en sluit μ dus beter in, maar de betrouwbaarheid hiervan daalt (van 95 naar 90%).

Bij een eis dat de grootte van het interval te weten $\frac{s}{\sqrt{n}} (t_{1-1/2\alpha, \nu} - t_{1/2\alpha, \nu})$ een gegeven maat I_{b^*} niet overschrijdt, wordt als indicatie van de steekproefgrootte gevonden $n > 16s^2/I_{b^*}^2$ ($\alpha = 5\%$).

Tabel 3.9.5. Grenswaarden $t_{\alpha, \nu}$ voor de t -verdeling dusdanig dat $P(t \leq t_{\alpha, \nu}) = \alpha$ bij ν vrijheidsgraden.

α :	97,5%	95%	90%	
ν :	$t_{0,975, \nu}$	$t_{0,95, \nu}$	$t_{0,90, \nu}$	
1	12,71	6,31	3,08	t -verdeling (steekproefverdeling) (kleine steekproeven)
2	4,30	2,92	1,89	
3	3,18	2,35	1,64	
4	2,78	2,13	1,53	
5	2,57	2,02	1,48	
10	2,23	1,81	1,37	
20	2,09	1,72	1,32	
30	2,04	1,70	1,31	(grote steekproeven)
60	2,00	1,67	1,30	
120	1,98	1,66	1,29	
∞	1,96	1,65	1,28	normale verdeling

Voor $\nu \geq 30$ wordt vaak de benadering met $t_{\alpha, \infty}$ gebruikt (grote steekproeven).

Voorts geldt $t_{1-\alpha, \nu} = -t_{\alpha, \nu}$ en $P(t > t_{\alpha, \nu}) = 1 - \alpha$.

3.9.7. Toetsen van hypothesen

Een statistische toets wordt omschreven als een besluitregel die aan de uitkomsten van een steekproef het al of niet verwerpen van een hypothese toevoegt. Een toets berust op een toetsingsgrootte. De stappen zijn:

- formuleer de te toetsen hypothese H_0 ;
- formuleer een alternatieve hypothese H_1 ;
- stel de toetsingsgrootte vast;
- bepaal de kansverdeling van de toetsingsgrootte onder H_0 ;
- kies een onbetrouwbaarheidsdrempel α , dat is de maximale (kleine) kans op het ten onrechte verwerpen van H_0 (fout van de eerste soort);
- bepaal het kritieke gebied I_k en wel zodanig dat de kans onder H_0 dat de toetsingsgrootte erin valt, gelijk is aan α of zo dicht mogelijk eronder ligt;
- verzamel gegevens om de toetsingsgrootte te kunnen uitrekenen;
- stel vast of de waarde van de toetsingsgrootte al of niet in het kritieke gebied valt, wat tot gevolg heeft dat de nulhypothese al of niet wordt verworpen. Algemeen geldt hier $P \{ \bar{x} \in I_k(\mu_0) \} = \alpha$.

Het aanvaarden van H_0 wanneer H_1 geldt, wordt een fout van de tweede soort genoemd. De kans hierop wordt aangeduid met het symbool β . De uitdrukking $1 - \beta$ is de kans op terecht verwerpen van H_0 . Deze kans wordt het onderscheidingsvermogen van de toets genoemd.

Een veel voorkomend geval is het toetsen van de hypothese dat het gemiddelde μ van een normaal, of bij benadering normaal, verdeelde populatie waarvan de standaardafwijking onbekend is, gelijk is aan de waarde μ_0 .

- hypothese: $H_0: \mu = \mu_0$
- alternatieve hypothese: $H_1: \mu \neq \mu_0$
- toetsingsgrootte: $\underline{t} = \frac{\bar{x} - \mu_0}{s/\sqrt{n}}$ met realisatie $\underline{t} = t_0$
- de kansverdeling van $\underline{t}$ is de Student- of t -verdeling met $\nu = n - 1$ vrijheidsgraden
- een conventionele waarde is $\alpha = 5\%$
- bepaal $t_{1/2\alpha, \nu}$ en $t_{1-1/2\alpha, \nu}$ uit tabel 3.9.5
- voer de berekeningen uit aan de hand van een steekproef ter grootte n
- constateer of waar is dat $t_{1/2\alpha, \nu} < t_0 < t_{1-1/2\alpha, \nu}$
- indien de vorige uitspraak waar is dan wordt H_0 niet verworpen; zo niet dan wel.

3.9.8. Numeriek voorbeeld

Van een zeker gebied wordt uit 21 gegevens berekend dat een gemiddelde waarde van een grootheid van interesse is: $\bar{x} = 33$. Men wil onderzoeken of de gegevens afkomstig kunnen zijn van een populatie met verwachtingswaarde $\mu_0 = 35$ tegen het alternatief dat dit niet zo is. De steekproef levert bovendien een schatting van de variantie op met als uitkomst $s^2 = 13$. De populatie wordt normaal verdeeld beschouwd.

- hypothese: $H_0: \mu = 35$
- alternatief: $H_1: \mu \neq 35$
- neem $\alpha = 5\%$
- $t_{1/2\alpha, 0} = t_{0,025, 20} = -t_{0,975, 20} = -2,09$ (kritieke waarde)
- waarde van de toetsingsgrootte: $t_0 = (33 - 35) \cdot \sqrt{21}/\sqrt{13} = -2,54$
- kritiek gebied: $t_0 < -2,09$ of $2,09 < t_0$
- geconstateerd wordt dat $-2,54 < -2,09$, zodat de nulhypothese verworpen wordt ten gunste van H_1 .

3.9.9. Chi-kwadraat-toets

De chi-kwadraat-toets wordt gebruikt voor het toetsen van de aanpassing van een empirische verdeling aan een theoretische verdeling, zodat $H_0: F(x) = F_0(x)$. De toets maakt hiertoe gebruik van het aantal waarnemingen dat volgens de steekproef in een bepaalde klasse valt en het, op basis van de theoretische verdeling, te verwachten aantal bij de gegeven steekproefgrootte.

3.9.10. Voorbeeld

Verwezen wordt naar tabel 3.9.6 waarin de te volgen procedure is weergegeven. De tabel sluit aan op tabel 3.9.1. We willen toetsen of de gegevens afkomstig kunnen zijn van een normaal verdeelde populatie met als alternatief dat dit niet zo is. Kies $\alpha = 5\%$. De toetsingsgrootte is:

$$\chi^2_{\nu} = \frac{\sum_i (O_i - E_i)^2}{E_i}$$

waarin:

- O = waargenomen (observed) absolute frequentie
- E = verwachte (expected) absolute frequentie
- $\nu = n - k - p$ aantal vrijheidsgraden met
 n aantal klassen waarin de gegevens zijn opgedeeld
 $k = 1$
 p aantal parameters dat met dezelfde steekproef is geschat

Tabel 3.9.6. Berekening van de toetsingsgrootte χ^2 voor de gegevens uit tabel 3.9.1.
 Geschatte parameters μ en σ^2 . H_0 : de verdeling is normaal.

x_i	klasse grenzen	z-transformatie van klasse-grenzen	$|z|$ $\int_0$	fractie per klasse	verwachte absolute freq.	waargenomen absolute freq.	gecombin. abs. freq. E O$		|O-E|$	$\frac{(O-E)^2}{E}$
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
178				(0,0009)	(0,06)					
179	178,5	-3,11	0,4991	0,0043	0,30	1				
180	179,5	-2,56	0,4948	0,0176	1,21	4				
181	180,5	-2,00	0,4772	0,0521	3,59	0	5,16	5	0,16	0,0050
182	181,5	-1,44	0,4251	0,1118	7,71	5	7,71	5	2,71	0,9525
183	182,5	-0,89	0,3133	0,1840	12,70	7	12,70	7	5,70	2,5583
184	183,5	-0,33	0,1293	0,2164	14,93	22	14,93	22	7,07	3,3480
185	184,5	0,22	0,0871	0,1952	13,47	22	13,47	22	8,53	5,4017
186	185,5	0,78	0,2823	0,1259	8,69	5	8,69	5	3,69	1,5669
187	186,5	1,33	0,4082	0,0624	4,31	0	6,33	3	3,33	1,7518
188	187,5	1,89	0,4706	0,0221	1,52	2	_____	_____		_____
189	188,5	2,44	0,4927	0,0060	0,41	1	68,99	69	$\chi^2 =$	15,5842
190	189,5	3,00	0,4987	0,0011	0,08	0				
	190,5	3,56	0,4998	$\frac{(0,0002)}{1,0000}$	$\frac{(0,01)}{68,99}$	$\frac{0}{69}$				

De verwachte absolute frequentie dient bij voorkeur gelijk aan of groter dan 5 te zijn.
 De verschillende stappen, uitgevoerd in tabel 3.9.6 zijn:

- (1) rangschik de meetuitkomsten, opgevat als klasse-middens, naar opklimmende grootte;
- (2) bepaal de klassegrenzen;
- (3) transformeer de klassegrenzen voor een $N(\mu, \sigma)$ -verdeling naar een $N(0, 1)$ -verdeling met

$$z = \frac{x - \bar{x}}{s}$$
- (4) bepaal uit een tabel voor de normale verdeling de cumulatieve kans met de klassegrenzen als kritieke waarden (in de tabel is de kans behorend bij het interval $(z, 0]$ voor $z < 0$ respectievelijk $(0, z]$ voor $z > 0$ gebruikt);
- (5) bepaal door het nemen van verschillen de kansen (fracties) behorend bij elke klasse;

- (6) vermenigvuldig de fracties met het aantal waarnemingen om de te verwachten absolute frequentie (E_i) vast te stellen;
- (7) vermeld de waargenomen (empirisch bepaalde) absolute frequentie (O_i);
- (8) en (9) combineer klassen dusdanig dat $\#E_i \geq 5$;
- (10) bepaal de verschillen $O_i - E_i$;
- (11) bereken voor iedere (overgebleven) klasse de bijdrage tot de chi-kwadratsom.

Er wordt gevonden $\chi^2_v = 15,5842$.

De verdeling is een χ^2_v -verdeling met $v = n - k - p = 7 - 1 - 2 = 4$.

Grenswaarde $\chi^2_{\alpha, v}$ met $(\alpha, v) = (0,95, 4)$ volgens tabellen van de χ^2 -verdeling: 9,49.

Gebruikelijk is alleen op overschrijdingen te toetsen, dus $I_k = (\chi^2_{\alpha, v}, \infty)$.

Aangezien de toetsingsgrootte oplevert $\chi^2_v = 15,6 > \chi^2_{0,95, 4}$ wordt de veronderstelling dat de gegevens afkomstig zijn van een normaal verdeelde populatie verworpen.

3.10. Literatuur

Buijs, A., 1980.

Statistiek om mee te werken. Stenfert Kroese, Leiden.

Dixon, W.J. and F.J. Massey, 1957*.

Introduction to statistical analysis. Int. stud. ed. 2nd ed. McGraw-Hill, New York.

Haan, Ch.T., 1977.

Statistical methods in Hydrology. IOWA State University Press, Ames Iowa.

Hald, A., 1967.

Statistical theory with engineering application. Wiley, New York.

Mood, A.M., F.A. Graybill and D.C. Boes, 1963.

Introduction to the theory of statistics. Int. stud. ed. 3rd ed. Mc Graw-Hill, Londen.

Nederlands Normalisatie Instituut, 1984.

Receptbladen voor de statistische verwerking van waarnemingen. NEN 1047.

Polytechnisch zakboekje, 1983.

red. M.R. Creemers, P.H.H. Leijendeckers, M.C.M. van Maarschalkerwaart, et al. 40e druk. PBNA, Arnhem.

Siegel, S., 1956.

Nonparametric statistics for the behavioral sciences. Int. stud. ed. Mc Graw-Hill, New York.

Stam, A.J., 1964.

Inleiding tot de waarschijnlijkheidsrekening. De Techn. Uitg. H. Stam N.V., Haarlem.

Wijvekate, M.L., 1960.

Verklarende statistiek. Het onderscheiden van toeval, schijn en werkelijkheid in cijfermateriaal. Spectrum, Utrecht.

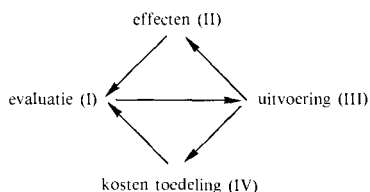
4. Economie

4.1. Project economie

In het kader van de landinrichting is een project een uitgewerkt voorstel voor samenhangende investeringen. Economie is de kennis over de keuzevraagstukken bij schaarse, alternatief aanwendbare middelen. De term economie wordt ook gebruikt voor volkshuishouding, zijnde het geheel van productie en gebruik (consumptie) van een volk.

In nevenstaande figuur zijn de essentiële delen van een project aangegeven. De evaluatie (I) - hier in ruime zin opgevat - bestaat uit een aantal stappen en wel vooral:

1. opsporen (identification);
2. ontwerp (formulation);
3. haalbaarheidsstudie (feasibility study);
4. finale beoordeling (appraisal);
5. nacalculatie als evaluatie in engere zin (ex-post evaluation).



In de verschillende delen van een project komen verschillende delen van de economie aan de orde:

- bij I: de welvaartseconomie. Daarop berust de kosten baten analyse,
- bij II: de gewone, analytische economie, de econometrie, de financiële analyse en bij landinrichtingsprojecten in het bijzonder de landbouweconomie,
- bij III: de leer van de organisatie (control theory),
- bij IV: de welvaartseconomie.

De welvaartseconomie (welfare economics) heeft in een en ander dus een belangrijke plaats. Het is de theorie die zich richt op het optimum voor het gehele volk. Men heeft daarin uitdrukkelijk meer op het oog dan alleen het inkomen; sommigen spreken dan ook liever van welzijnseconomie.

Er is voor gekozen om in dit vademecum de belangrijkste bij één en ander aan de orde komende begrippen en methoden in alphabetische volgorde te behandelen, waarbij dan mede begrippen uit de algemene economie en de landbouweconomie aan de orde komen. Voor econometrie wordt verwezen naar hoofdstuk I. 4.2. Volledigheid is uiteraard niet bereikbaar, de gemaakte selectie wil refereren aan de betekenis in het kader van de landinrichting. De macro-economie is daarbij zijdelings aan de orde. Een goed naslagwerk voor begrippen uit de macro-economie is "Het moderne geldwezen" van Korteweg en Keesing (1978, 1978, 1981 (vier delen)).

De evaluatie zoals die thans in de praktijk wordt toegepast is reeds elders beschreven, te weten in twee nota's over "De HELP-methode voor de evaluatie van landinrichtingsprojecten" met name "Beschrijving en verantwoording" en "Toelichting en Uitwerking" (Landinrichtingsdienst, 1983 en 1984). Zie hiervoor ook hfdst. IV.5 van dit Vademecum.

4.1.1. Afschrijving / waarde vermindering

Afschrijving (writing of for depreciation) is de boekhoudkundige verwerking van de waardevermindering van duurzame productiemiddelen met - in het kader van de kostprijsberekening - als doel het oorspronkelijke vermogen in tact te houden. Afschrijving is een bedrijfseconomisch begrip; in de projecteconomie wordt over de waardevermindering zelf gesproken.

De waardevermindering (D) is een gevolg van de daling van de (toekomstige) opbrengsten en/of stijging van de onderhoudskosten ten gevolge van technische en economische factoren en wordt in de regel weergegeven door een bedrag per jaar (t) gedurende de levensduur (T) dat is opgebouwd uit een coëfficiënt ($d[t]$) maal de investering (I) eventueel verminderd met de restwaarde (Z).

De waardevermindering volgt uit het verloop van de opbrengsten en de onderhoudskosten, zodat de berekening -in samenhang met de rente- daarop moet worden afgestemd.

Lineaire berekening.

Vanwege de eenvoud wordt deze methode (lineair calculation) veel gebruikt. De formules zijn:

$$D[1,t] = D[1] \quad (4.1.1)$$

met $D[1] = d[1] \times (I - Z) \quad (4.1.2)$

en $d[1] = 1/T \quad (4.1.3)$

Uit de vergelijkingen blijkt dat de waardeverminderingen constant zijn in de tijd. Bij $T = 25$ jaar bijvoorbeeld, is $d[1]$ elk jaar 4% van $(I - Z)$. Verder blijkt dat de som van de berekende waardeverminderingen plus Z het oorspronkelijke vermogen oplevert.

De rente, als kosten voor het vermogensbeslag, heeft hier betrekking op de resterende waarde van de produktiemiddelen, welke daalt. De kosten als som van rente en waardevermindering zijn dus afnemend.

Amortisatiefonds.

Bij deze methode wordt elk jaar een vast bedrag als amortisatie (A) afgezonderd, hetgeen wordt uitgezet met rente op rente en dan, samen met de restwaarde, het oorspronkelijke vermogen oplevert. In financiële tabellen kan, gegeven een levensduur (T) en een rentevoet (r), de daartoe te hanteren factor ('sinking fund factor') worden opgezocht. De formules zijn:

$$A[t] = A \quad (4.1.4)$$

met $A = a \times (I - Z) \quad (4.1.5)$

en $a = \frac{r}{(1 + r)^T - 1} \quad (4.1.6)$

Bij $T = 25$ jaar en $r = 0,05$ is de bijdrage aan het fonds elk jaar 2,1% ; in 25 jaar derhalve 52,5%. De rest wordt terugverkregen via de herbelegging. In deze werkwijze blijven de rentekosten een vast bedrag per jaar en dus ook de sommen van amortisatie en rente; in het voorbeeld 7,1% (voor de impliciete afschrijving zie bij Annuïteiten). De methode speelt vooral een rol in de financieringstheorie.

Annuïteiten.

De annuïteit (Ann) is een vaste coëfficiënt (ann) voor de som van waardevermindering en rente welke in tabellenboeken kan worden opgezocht (gegeven T enz.). De formules zijn:

$$Ann[t] = Ann \quad (4.1.7)$$

met $Ann = ann \times (I - Z) \quad (4.1.8)$

en $ann = \frac{r \cdot (1 + r)^T}{(1 - r)^T - 1} \quad (4.1.9)$

In het voorbeeld is die vaste coëfficiënt 7,1%. Dit moet hetzelfde zijn als hiervoor bij Amortisatiefonds is bepaald, omdat de formule is te herschrijven als:

$$ann = r + \frac{r}{(1 + r)^T - 1} \quad (4.1.10)$$

en omdat de annuïteiten-methode is gebaseerd op de 'sinking fund' gedachte. De annuïteitenformule doet geen uitspraak over de afschrijving als zodanig. De erin besloten afschrijving wordt wel ingevuld als een oplopend bedrag naarmate de rente over het nog in de kapitaalgoederen besloten vermogen daalt. De formules zijn dan:

$$D[3, t] = d[3, t] \times (I - Z) \quad (4.1.11)$$

en $d[3, t] = \frac{ann - r}{(1 + r)^{(t-1)}} \quad (4.1.12)$

Vaste fractie van de boekwaarde.

Er bestaan andere methoden dan de genoemde. Daaronder is die volgens een vaste fractie van de investering minus de reeds verwerkte waardedaling.

In formules:

$$D[4, T] = d[4] \cdot (1 - d[4])^{(t-1)} \cdot I \quad (4.1.13)$$

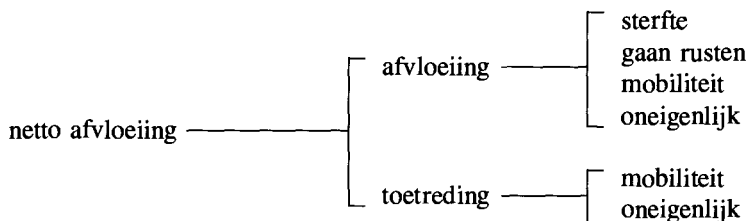
met $Z = (1 - d[4])^T \cdot I \quad (4.1.14)$

De berekende waardevermindering wordt als kosten toegedeeld aan de gebruiks jaren. In de gangbare projectevaluatie methoden (contante waarde berekening en interne rentevoet berekening) komt de waardevermindering (en afschrijving) als zodanig niet voor. Het is begrepen in de investeringen als aftrekpost in de berekening (zie par. I. 4.1.14).

4.1.2. Afvloeiing en toetreding.

Afvloeiing is de uittreding van de beroepsbevolking in dit verband uit de landbouw. De netto-afvloeiing is de afvloeiing minus de toetreding.

Belangrijke componenten van de netto-afvloeiing zijn weergegeven in het volgende schema. Hierin is mobiliteit de overgang naar een andere beroepsgroep of ander gebied. In analyses van CBS-gegevens bleken ook oneigenlijke -statistische of administratieve- veranderingen. Bij toetreding (mobiliteit) moet vooral gedacht worden aan de beroepsovergang van medewerkende (zoon) naar opvolgend bedrijfshoofd.



De belangrijkste bepalende factor voor de afvloeiing is de leeftijd van de betrokkenen. Verder is van belang de onderscheiding naar 'push' en 'pull' factoren, in casu respectievelijk factoren binnen en buiten de landbouw.

Geconstateerd is dat voor de mobiliteit de 'pull'-factoren (als alternatieve werkgelegenheid) domineren over de 'push'-factoren (als inkomensveranderingen in de landbouw). Door afvloeiing ontstaan verschillen tussen het effect van een project op het regionale inkomen en het effect op het inkomen per hoofd.

4.1.3. Baten.

Met betrekking tot de baten (benefits) (B) zijn private en maatschappelijke baten te onderscheiden en ook financiële en niet financiële. De private baten betreffen een beperkte groep subjecten, de maatschappelijke baten betreffen het gehele volk. De baten staan voor die effecten welke een bijdrage leveren aan de verwezenlijking van de doelstellingen en hebben dus betrekking op de finale effecten (zie par. I. 4.1.8 Effecten-analyse). In de kosten-baten analyse betreft het doelstellingen en waardeoordelen van de subjecten, het kan echter ook doelstellingen en waardeoordelen van de overheid betreffen met betrekking tot die subjecten (zie par. I. 4.1.10 Evaluatie).

Veelal worden de baten berekend in vergelijking met de autonome ontwikkeling, ook wel passieve ontwikkeling of 0-plan genoemd. Hiermee wordt de ontwikkeling bedoeld waarbij de maatregelen waarop de baten betrekking hebben achterwege blijven. De invulling van de autonome ontwikkeling houdt verband met wat men evalueert; bijvoorbeeld: de activiteit van een bepaalde dienst of van een ruimer geheel van activiteiten. In het eerste geval kan de autonome ontwikkeling maatregelen van andere diensten omvatten zoals verbeteringen door een waterschap of door een gemeente.

4.1.4. Bedrijfsgrootte

De bedrijfsgrootte is in de landbouweconomie vaak de oppervlakte behorende bij een bedrijfshuishouding. Voor sommige doeleinden is de netto toegevoegde waarde (*NTW*) een betere maatstaf voor de grootte van een bedrijf. Een voor de landbouw gebruikelijke benadering van de *NTW* is het aantal *SBE*'s. (Voor begripsomschrijving zie: standaard bedrijfseenheden par. I. 4.1.33.)

De toeneming van de bedrijfsgrootte in een gebied wordt in de regel gegeven als toename van het gemiddelde over alle bedrijven (totale oppervlakte gedeeld door het aantal bedrijven). Dit is vaak misleidend; de gemiddelde bedrijfsgrootte stijgt namelijk sterk als veel kleine bedrijven worden opgeheven, terwijl de grootte van de voortgezette bedrijven nauwelijks toeneemt. Stel dat 10 bedrijven van 5 ha worden beëindigd en 10 bedrijven van 45 ha blijven voortbestaan, dan neemt de gemiddelde bedrijfsgrootte toe van $(50 + 450)/20 = 25$ naar $500/10 = 50$, dus een verdubbeling. De blijvende bedrijven zijn echter slechts met iets meer dan 10% gegroeid namelijk van 45 naar 50 ha. In tabel 4.1.1 wordt dit weergegeven voor een praktijkgeval. Het blijkt dat ook daar het verschil aanzienlijk is. (15,1% vergroting naast 4,6%)

Tabel 4.1.1. Berekening verandering bedrijfsgrootte voor de Groninger Veenkoloniën 1956-1965

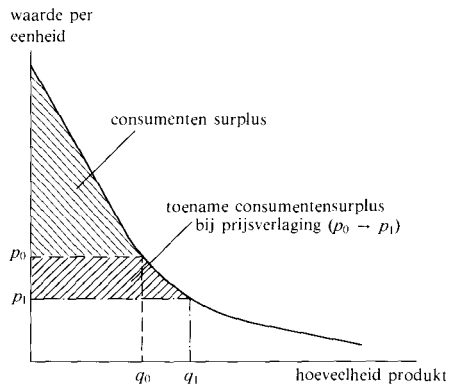
conventionele voorstelling (aanwezige bedrijven)			gecorrigeerde voorstelling (voortgezette bedrijven)		
totaal			totaal	niet voortgez.	voortgez.
aantal bedr.	1956	1.522	1.522	247	1.275
totaal opp.	1956	20.829 ha	20.829 ha	1.600 ha	19.229 ha
gemidd.opp.	1956	13,69 ha	13,69 ha	6,5 ha	15,08 ha
aantal bedr.	1965	1.275	n.v.t.	n.v.t.	1.275
totaal opp.	1965	20.100 ha	n.v.t.	n.v.t.	20.100 ha
gemidd.opp.	1965	15,76 ha	n.v.t.	n.v.t.	15,76 ha
toeneming gem. bedrijfsgrootte gehele periode '56-'65: 15,1%			toeneming gem. bedrijfsgrootte gehele periode 1956-'65: 4,6%		

4.1.5. Consumentensurplus

Het consumentensurplus (consumers-rent) is het verschil tussen het bedrag dat de consument zou willen betalen -bij hypothetische hoeveelheden- en het bedrag dat hij in werkelijkheid moet betalen. Dit wordt geïllustreerd in figuur 4.1.1, waar de dalende vraagcurve het verloop van de subjectieve waarde voor de consument aangeeft. De consument wil voor iedere eenheid product meer (bijvoorbeeld een liter melk) in het algemeen minder betalen. In de figuur behoort bij hoeveelheid q_0 een prijs van p_0 ; het consumentensurplus is het gearceerde oppervlak boven de prijslijn. De verandering in consumentensurplus is een essentieel element in de (maatschappelijke) kosten-baten analyse; het staat naast de effecten op het nationaal inkomen.

Als door een project de prijzen per eenheid dalen (bijvoorbeeld van p_0 naar p_1), volgt een vergroting van het consumentensurplus; bij prijsstijging is het tegenovergestelde van toepassing. Het aldus berekende verschil in 'willingness to pay' is een functie van het nut en van de koopkracht van de betrokkene. Voor een juist gebruik van het consumentensurplus in de evaluatie kan het nodig zijn om de invloed van de koopkracht te elimineren. Het surplus kan ook betrekking hebben op niet in geld uitgedrukte grootheden (bijvoorbeeld benodigde tijd) of op in geld omgerekende grootheden.

*Figuur 4.1.1.
Vraag als relatie van hoeveelheden
(q) en prijzen (p) en het consumenten-
surplus, grafisch weergegeven.*



4.1.6. Contante waarde

De contante waarde (present worth) van nog te ontvangen of te betalen bedragen is de voor een bepaald tijdstip met een gegeven discontovoet berekende waarde van deze bedragen. Het is een wijze van het op één noemer brengen van effecten die zich op verschillende tijdstippen voordoen. Bijvoorbeeld: voor de som van de contante waarde (CW) in jaar 0 van kosten van onderhoud (CO) in de jaren $t = 1$ tot $t = T$ bij een discontovoet van $r\%$ geldt:

$$CW[0] = \frac{CO[1]}{(1+r)} + \frac{CO[2]}{(1+r)^2} + \dots + \frac{CO[T]}{(1+r)^T} \quad (4.1.15)$$

Voor $CO[1] = CO[2] \dots = CO$, dat wil zeggen in de tijd gelijkblijvende kosten geldt:

$$CW = \frac{CO}{r} \cdot \left\{ 1 - \frac{1}{(1+r)^T} \right\} \quad (4.1.16)$$

Stel bijvoorbeeld de kosten van onderhoud (CO) zijn f 100, de disconteringsvoet (r) is 5 en de levensduur (T) is 30 jaar. Uit verg. 4.1.16 volgt dan een contante waarde van:

$$CW = \frac{f \ 100}{0,05} \cdot \left\{ 1 - \frac{1}{1,05^{30}} \right\} = f \ 1537$$

Voor investeringen (I) geldt dat binnen de voor de analyse aangehouden tijdshorizon (T) de investering herhaald wordt na de levensduur (L) en dat de restwaarde na L en T een rol zal kunnen spelen. Met een eerste investering in $t = 0$ geldt:

$$CW = I + (I - R) \frac{1}{(1+r)^L} + \dots + (I - R) \frac{1}{(1+r)^{zL}} + R \frac{1}{T(1+r)^T} \quad (4.1.17)$$

waarbij: $zL < T$ en $(z+1)L > T$

De netto contante waarde (NCW) is een belangrijk criterium in de projectevaluatie. Het wordt berekend als het verschil tussen de contante waarde van baten en kosten.

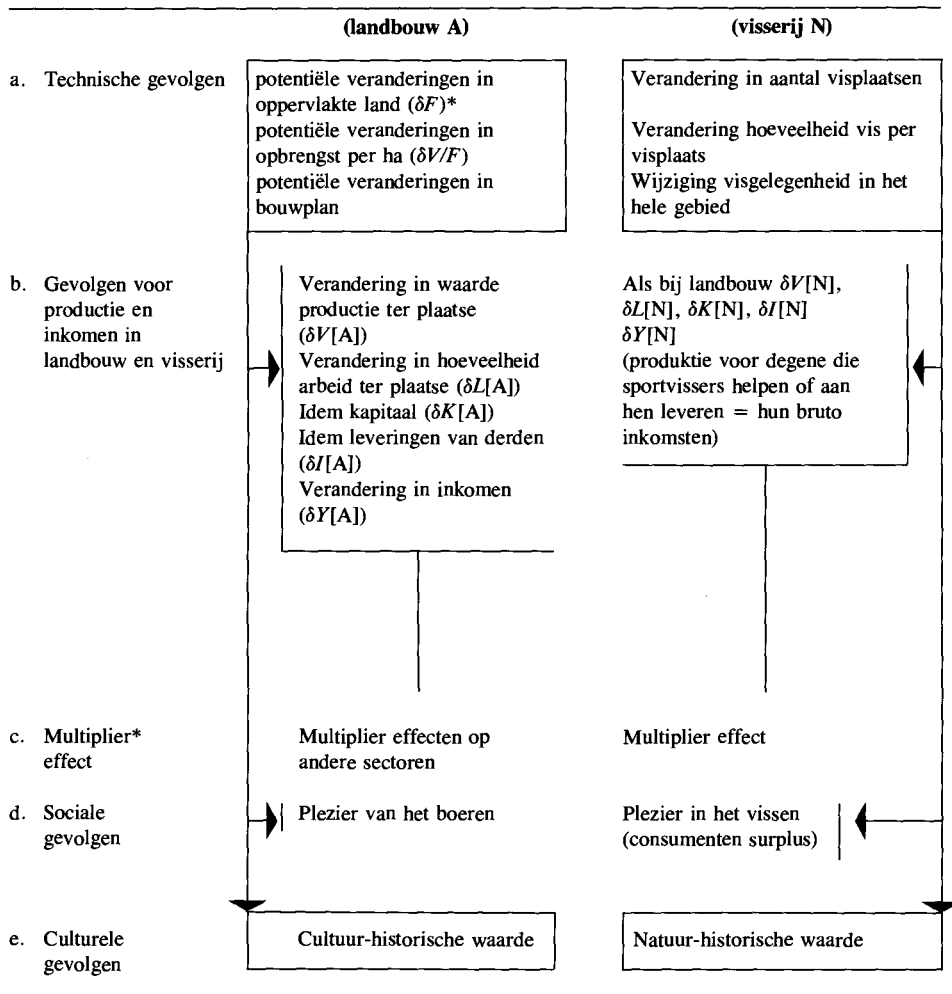
4.1.7. Conversiefactor

Een conversiefactor is de verhouding tussen rekenprijs (zie par. I. 4.1.32) en werkelijke prijs (marktprijs).

4.1.8. Effecten-analyse

Effecten-analyse is het bepalen van de gehele keten van gevolgen (effecten). Hierna volgt een voorbeeld van een schema van effecten. Het betreft de effecten van diepe ontwatering voor en via landbouw en sportvisserij. Onder b, c, d en e staan elementen van de (maatschappelijke) baten.

Tabel 4.1.2. Voorbeeld van een schema van de effecten van een diepe ontwatering voor en via de landbouw en de sportvisserij.



* δF etc. = toename F

Voor meer algemene schema's voor effecten-analyse voor landinrichting zie bijvoorbeeld *Bundesministerium für Raumordnung* (1978) en *Locht* (1970a).

Effecten-analyse ligt ten grondslag aan zowel kosten-baten analyse, effectiviteitsanalyse en de milieu-effectrapportage (M.E.R.).

4.1.9. Elasticiteit

De elasticiteit (elasticity) (E) geeft, bij onderling afhankelijke grootheden, de gevoeligheid voor kleine (marginale) veranderingen van de ene grootheid (onafhankelijke variabele) op de andere grootheid (afhankelijke variabele) aan. Het wordt met name gebruikt bij schattingen van vraag en aanbodfuncties en daaruit volgende veranderingen in prijs en consumentensurplus. De onafhankelijke variabele (in de noemer) wordt doorgaans gebruikt om de soort elasticiteit (E) mee aan te duiden.

Als benadering wordt gebruikt:

$$E = \frac{\text{percentuele verandering v.d. afhankelijke variabele}}{\text{percentuele verandering v.d. onafhankelijke variabele}} \quad (4.1.18)$$

Enkele voorbeelden zijn:

- Prijselasticiteit van de gevraagde hoeveelheid ($E_{p,q[d]}$):

$$\begin{aligned} E_{p,q[d]} &= \frac{\text{proc. verand. v.d. gevraagde hoeveelheid}}{\text{proc. verand. v.d. prijs}} = \frac{\delta(q[d])/q[d]}{\delta(p)/p} = \\ &= \frac{\delta(q[d])}{\delta(p)} \cdot \frac{p}{q[d]} \end{aligned} \quad (4.1.19)$$

Prijselasticiteit van de aangeboden hoeveelheid ($E_{p,q[s]}$):

$$\begin{aligned} E_{p,q[s]} &= \frac{\text{proc. verand. v.d. aangeboden hoeveelheid}}{\text{proc. verand. v.d. prijs}} = \frac{\delta(q[s])/q[s]}{\delta(q)/q} = \\ &= \frac{\delta(q[s])}{\delta(q)} \cdot \frac{p}{q[s]} \end{aligned} \quad (4.1.20)$$

Inkomenselasticiteit ($E_{y,q}$):

$$\begin{aligned} E_{y,q} &= \frac{\text{proc. verand. v.d. gevraagde hoeveelheid v.e. goed}}{\text{proc. verand. v.h. inkomen}} = \frac{\delta(q)/q}{\delta(y)/y} = \\ &= \frac{\delta(q)}{\delta(y)} \cdot \frac{y}{q} \end{aligned} \quad (4.1.21)$$

4.1.10. Evaluatie methode

De Evaluatie methode wordt gebruikt als algemene aanduiding voor werkwijzen voor beoordeling van plannen, acties of ontwikkelingen. In de Angelsaksische literatuur is 'evaluation' een waardering achteraf (ex-post). In Nederland omvat het ook evaluaties vooraf (ex-ante). Enkele belangrijke werkwijzen zijn:

- a. kosten-baten analyse
- b. multicriteria analyse
- c. simulering perfecte markt
- d. effectiviteitsanalyse

Het is van groot belang om de methode te gebruiken die past bij het soort probleem en de aard van de beslissing. Voor het milieu-beleid wordt de keuze uit een groot aantal methoden behandeld door *Janssen* (1984). Bij sommige methoden, waaronder de kosten-baten analyse is het mogelijk doelstellingen van de subjecten als referentiekader te hantieren; er kan dan sprake zijn van een -poging tot- objectieve evaluatie van beleid (*Hennipman*, 1977).

Multicriteria-analyse is subjectief in het vergelijkbaar maken van de doeleinden en is daarom alleen bruikbaar met referentie aan doelstellingen van de beslisser (de overheid).

4.1.11. Externe effecten

De term externe effecten wordt zowel gebruikt voor alle effecten voor andere dan de 'marktpartijen', als voor alleen de geheel buiten de markt om werkende effecten (spill-over effects, externalities).

4.1.12. Inflatie en indexcijfers

Inflatie is het proces van waardevermindering van het geld en wel oorspronkelijk uitsluitend een snelle waardevermindering. Evaluaties worden in de regel uitgevoerd in 'reële prijzen' dat wil zeggen in -met behulp van indexcijfers- gecorrigeerde 'nominale prijzen'. Financiële analyses en haalbaarheidsstudies worden in de regel uitgevoerd in nominale prijzen.

Een indexcijfer is een verhoudingsgetal; het geeft een grootte (bijvoorbeeld prijzen of hoeveelheden) weer ten opzichte van dezelfde grootte in een basisjaar. Samengestelde indexcijfers, zoals in tabel 4.1.3 doen dit voor een verzameling grootheden. Met behulp van indexcijfers kunnen andere grootheden gecorrigeerd worden voor veranderingen in de tijd. Veelal zijn indexcijfers-reeksen slechts kort in verband met 'het mandje' goederen waarmee is gerekend. De gebruiker zal vaak behoefte hebben aan langere reeksen ondanks de daaraan klevende bezwaren.

Tabel 4.1.3 Enkele veel gebruikte indexcijfers (1975 = 100)

jaar	prijsindex cijfer v.h. Nat.inkomen (netto markt prijzen)	prijsindex cijfer v.d. gezinscon- sumptie. (globaal)	indexcijf. bouwkosten woningen (globaal) (incl. BTW)	prijsindex landbouw- produkten in:		index- cijfers: uurlonen		indexcijfers cultuur- technische werken
	(1)	(2)	(2)	akkb. veeh. ⁶⁾	landb. ⁴⁾	nijverh.		
				(3)		(3)		(5)
1900	14	10						
1905	15	11						
1910	16	11						
1915	18	14	5					
1920	31	22	15					
1925	24	17	8	22	31			
1930	21	15	7	16	24			
1935	19	13	5	12	14			
1940	-	15	7	17	22			
1945	-	23	-	28	33			
1950	27	31	20	45	53	9	12	
1955	33	37	28	50	60	13	16	
1960	38	43	31	57	56	20	22	
1965	48	52	42	67	71	31	34	
1966	51	55	45	71	73	34	38	
1967	53	57	45	67	73	36	40	
1968	55	59	48	61	74	38	43	
1969	59	63	53	73	78	42	47	
1970	62	66	59	77	77	49	51	
1971	68	71	67	66	80	56	59	
1972	73	76	73	70	85	62	66	
1973	79	83	82	86	96	70	76	
1974	89	91	93	83	91	86	88	
1975	100	100	100	100	100	100	100	100
1976	109	109	109	148	108	111	108	106
1977	116	116	119	104	110	120	119	112
1978	121	121	130	90	107	129	127	116
1979	128	126	142	103	108	138	136	121
1980	136	134	153	106	110	144	142	128
1981	144	143	158	111	121	153	149	136
1982	152	151	155	113	130	164	158	145
1983	155	155	154	137	127	168	160	148
1984	158	161	154	138	128	169	161	152
1985	161	164	152	109	129	173	164	154
1986	-	164	155	105	119	177	166	156

Bronnen:

- 1) CBS Nationale Rekeningen (Statistisch zakboek)
- 2) CBS Statistisch zakboek
- 3) CBS/LEI Landbouwcijfers
- 4) betreffende land- en tuinbouw; van 1965-1973 uitsluitend akkerbouw en veehouderij
- 5) LD Inspectie Techniek en Uitvoering indexcijfers voor landinrichtingswerken (situatie in januari)
gemiddelde totale ruilverkaveling
- 6) rundveehouderij en intensieve veehouderij

Tevens werd gebruik gemaakt van de CBS-uitgaven:

- zeventig jaren statistiek in tijdreeksen
- 75 jaar statistiek van Nederland

4.1.13. Inkomen

Nationale Inkomen

Een belangrijk element in de kosten en baten is het effect op het Nationale Inkomen. Dit begrip wordt op verschillende manieren opgevat. Gewoonlijk heeft men het netto Nationale Inkomen tegen factorprijzen op het oog als de term zonder toevoegingen wordt gehanteerd.

Uitgangspunt is de volgende causale keten: De aanwending van productiefactoren (arbeid, machines, gebouwen, grondstoffen) in het productieproces levert het inkomen op voor gezinnen. Uit deze inkomens vloeien bestedingen voort (effectieve vraag) die de ontvangsten vormen voor de bedrijven en de overheid.

Het Nationale Inkomen kan statistisch op twee wijzen worden vastgesteld:

- a.) De som van alle persoonlijke inkomens (lonen, interesten, winsten) die de gezamenlijke gezinnen gedurende een jaar ontvangen. Dit wordt het netto Nationale Inkomen tegen factorkosten genoemd omdat het berekend is op basis van de kosten van de gebruikte productie-factoren.
- b.) De sommatie van de toegevoegde waarde van alle goederen en diensten (objecten) die in Nederland in een jaar worden voortgebracht. Deze methode wordt gevolgd door het CBS in de Nationale Rekeningen. De uitkomst geeft het bruto binnenlandsproduct tegen 'marktprijzen', dat zijn de werkelijke prijzen. Wanneer het saldo van de inkomensoverdrachten uit het buitenland bij dit binnenlands product (ofwel binnenlands inkomen) wordt opgeteld verkrijgt men het bruto Nationale Inkomen tegen marktprijzen.

Het verschil tussen de verschillende soorten Nationaal Inkomen is in het in tabel 4.1.4 gegeven overzicht samengevat.

Opmerking:

Tussen het Nationaal Product en het Nationaal Inkomen wordt geen verschil gemaakt indien beide grootheden (zoals hier) zijn uitgedrukt in prijzen uit het zelfde jaar. In constante prijzen gemeten, de prijzen uitgedrukt in verhouding tot een bepaald -basisjaar, behoeven zij niet tot dezelfde uitkomst te leiden; dit hangt samen met het verschil in berekeningswijze.

Inkomensvorming agrarische gezinsonderneming

Een gebruikelijke opstelling om te komen tot het besteedbare inkomen van een agrarische gezinsonderneming is gegeven in tabel 4.1.5.

Tabel 4.1.4. Opbouw van het Nationale Inkomen in 1986, in prijzen van 1986 (in mlj gld)*

- lonen, salarissen, soc.lasten in Nederland van bedrijven	176.750	
van de overheid	47.100	
- overige inkomsten (rente, winsten, -netto-huren etc)	121.360	
		+
NETTO BINNENLANDS inkomen tegen FACTORKOSTEN		345.210
- primaire inkomens uit het buitenland (saldo lonen, = salarissen, soc.lasten uit het buitenland) (+)	}	- 380
- primaire inkomens verdiend in Nederland door niet ingezetenen (-)		
		+
		- 380
Netto NATIONAAL inkomen tegen factorkosten		344.830
- ontvangen indirecte belastingen (kostpr.verhogend)(+)	}	40.190
- prijsverlagende subsidies (-)		
		+
		40.190
netto nationaal inkomen tegen MARKTPRIJZEN		358.020
- afschrijvingen van bedrijven		40.990
- afschrijvingen van de overheid		2.730
		+
		43.720
BRUTO nationaal inkomen (product) marktprijzen		428.740

* bron Nationale Rekeningen CBS, 1986

Tabel 4.1.5. Opstelling voor berekening van het besteedbaar inkomen van een agrarische gezinsonderneming

bedrijfsontvangsten	.....
bedrijfskosten (incl.berekend loon en ber. rente)	.....
	----- -
Netto BEDRIJFSRESULTAAT	.....
berekend loon ondernemer	.....
	----- +
ARBEIDSOPBRENGST van de ondernemer	.....
niet uitbetaalde vergoeding bedrijfsvermogen	.....
incidentele bedrijfsopbrengsten	.....
	----- +
ONDERNEMERSINKOMEN	.....
berekend loon meewerkende gezinsleden	.....
	----- +
BEDRIJFSINKOMEN	.....
inkomen buiten bedrijf	.....
	----- +
GEZINSINKOMEN	.....
betaalde belastingen en premies volksverzekeringen	.....
	----- -
BESTEEDBAAR INKOMEN	.....

Inkomen landbouwsector

Het inkomen van de landbouwsector kan -via het schema van de Nationale Rekeningen- worden bepaald op de wijze zoals aangegeven. in tabel 4.1.6.

Tabel 4.1.6. Opstelling voor berekening van het agrarisch inkomen

Totale productiewaarde tegen marktprijzen	.....
interne leveringen 1)	 -
Bruto PRODUCTIEWAARDE	.....
toegevoegde goederen en diensten	 -
Bruto TOEGEVOEGDE WAARDE	.....
afschrijvingen	 -
Netto TOEGEVOEGDE WAARDE tegen MARKTPRIJZEN	.....
indirecte belastingen (-) prijsverlagende subsidies (+)	 -/+
Netto TOEGEVOEGDE WAARDE tegen FACTORKOSTEN	.....
= AGRARISCH INKOMEN	

1) Dat gedeelte van de productie dat opnieuw in de bedrijfstak wordt aangewend bijvoorbeeld zaaizaad en pootgoed.

4.1.14. Interne rentevoet

De interne rentevoet (internal rate of return) (hier i ; ook $I.R.$ is gebruikelijk) is die rentevoet waarbij de som van de contante waarden van baten minus kosten gelijk is aan nul. Dit is in de onderstaande vergelijking weergegeven.

$$\left\{ \frac{B(1)}{1+i} + \frac{B(2)}{(1+i)^2} + \dots + \frac{B(T)}{(1+i)^T} \right\} - \left\{ I + \frac{CO(1)}{1+i} + \dots + \frac{CO(T)-R(T)}{(1+i)^T} \right\} = 0$$

waarin:

- $B(T)$ = baten in jaar t
- T = levensduur van de investering of de "tijdshorizon"
- $I(T)$ = bedrag van de investering in jaar t
- $CO(T)$ = kosten van onderhoud in jaar t
- R = restwaarde

De interne rentevoet kan worden gebruikt voor selectie van de al of niet uit te voeren plannen voor zover de baten en kosten op één noemer (geld) zijn gebracht. Het maakt in deze berekening geen verschil of een effect als kosten dan wel als negatieve baten wordt verwerkt, omdat de formule ook is te schrijven in:

$$I + [B(1) - CO(1)]/(1 + i) \text{ enz} \quad (4.1.23)$$

In onderstaand voorbeeld is de interne rentevoet geplaatst naast de netto contante waarde (*NCW*) als maatstaf voor een geval van gelijk blijvende baten en onderhoudskosten en restwaarde = 0.

	project I	project II
Investering (<i>I</i>) in guldens	1000	1000
Baten min onderhoud (<i>B</i> - <i>CO</i>) in guldens	117	84
Levensduur (<i>T</i>) in jaren	20	40
Interne rentevoet (<i>i</i>)	10%	8%
Netto contante waarde bij 4% disconto in gld.	596	660

De interne rentevoet geeft dus een andere volgorde van de projecten dan de *NCW*, indien de resulterende interne rentevoet een andere is dan de te hanteren discontovoet (hier 4%). Bij de selectie uit alternatieven met de interne rentevoet moet de interne rentevoet over de verschillen in kosten gebruikt worden (zie par. I 4.1.18). Voor vergelijking met andere criteria zie bijv. *Locht* (1970b).

4.1.15. Investeren

Investeren is het voor meerdere jaren vastleggen van vermogen in productiemiddelen. Onderscheiden worden vervangingsinvesteringen en uitbreidingsinvesteringen. Uitbreiding betekent meer productiemiddelen.

Uitbreidingsinvesteringen worden onderscheiden in diepte-investeringen, waarbij de productiecapaciteit gelijk blijft en breedte-investeringen.

4.1.16. Investeringsselectie

Over investeringsselectie wordt vooral gesproken bij beslissingen op bedrijfsniveau. Belangrijke gezichtspunten zijn:

- rentabiliteit
- liquiditeit
- solvabiliteit

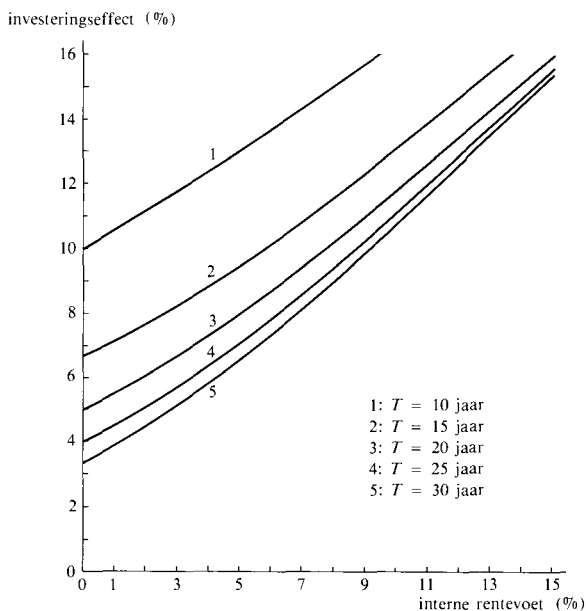
4.1.17. Investeringseffect

Het investeringseffect is het selectie criterium dat gebruikt werd bij de evaluatie-procedure volgens het Meerjarenplan voor ruilverkavelings - en andere cultuurtechnische projecten (1958). Het wordt daarin gedefinieerd als:

- uitgaande van het huidige stelsel van lonen en prijzen - het getal dat ontstaat door de totale investeringen in de uit te voeren cultuurtechnische werken, te delen op het berekende netto-voordeel per jaar. Voor de verhouding tot de interne rentevoet zie figuur 4.1.2. In de praktische landinrichting is het begrip investeringseffect verbonden aan de gehele destijds gevolgde berekeningsmethodiek. Deze methodiek wordt thans niet meer toegepast.

Figuur 4.1.2.

Omrekening investeringseffect en interne rentevoet bij, in de loop van de jaren, constante baten over verschillend aantal jaren (T).

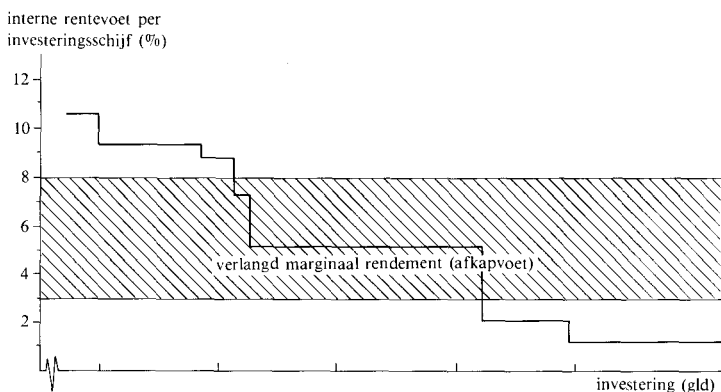


4.1.18. Investeringsstrappenmethode

De investeringsstrappenmethode (investmentsteps method) is een geheel van regels voor een bepaalde selectieprocedure die is voorgesteld (onder andere *Locht*, 1980) voor gevallen waarin:

- er een -beperkt- aantal mogelijkheden (alternatieven) is voor de aanwending van de middelen van een dienst;
- het praktisch is om de selectie in de voorbereiding uitdrukkelijk te onderscheiden van die in de eindbeslissing waarbij in de voorbereiding zoveel mogelijk beslissingen worden genomen zonder al beleidsbeslissingen te incorporeren.

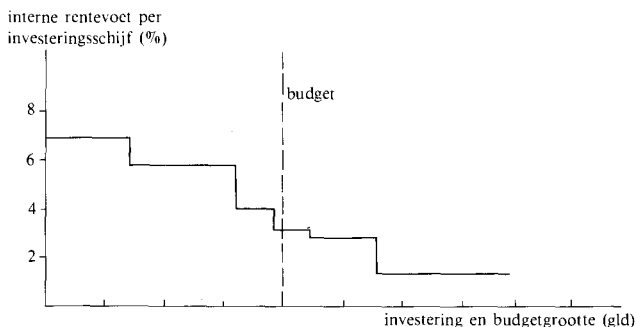
De methode is toepasbaar met verschillende rendementscriteria. De methode geeft een -benadering van- de marginale afweging van netto effect enerzijds en grenzen voor het gewenste rendement (afkapvoet) anderzijds.



Figuur 4.1.3. Voorbeeld van investeringstrap en afkapvoet.

De methode kan in principe ook gebruikt worden bij de beslissing over alle projecten van een dienst gezamenlijk. Dan volgt als -horizontale- sommatie van de investeringstrappen van de projecten een vraagcurve naar de middelen van de dienst.

In de eindfase van de beslissingsprocedure is de grootte van het budget veelal min of meer bekend. De keuze van de uit te voeren projecten en de optimale grootte van de investering per projectgebied volgt dan uit de confrontatie van de vraagcurve met het budget.



Figuur 4.1.4. Voorbeeld van investeringstrap en budgetrestrictie.

In die gevallen waarin belangrijke delen van de verschillen in de effecten tussen twee alternatieven niet op één noemer (geld) zijn gebracht, geeft de aangegeven werkwijze met de interne rentevoet - over alleen het in geld uitgedrukte deel - uiteraard een partiële beschouwing. Toepassing van de schijvengedachte met netto contante waarde (dus in plaats van de interne rentevoet) heeft dan het voordeel dat het niet in geld uitgedrukte effect met een bepaald bedrag kan worden vergeleken.

4.1.19. Kosten

In de kosten-baten analyse zijn 'kosten' de verliezen die men leidt doordat een andere aanwending van 'de in de produktie aangewende' middelen wordt uitgesloten. De kosten zijn gelijk aan de opbrengst van de beste van de uitgesloten aanwendungen. Om dit goed te doen uitkomen wordt vaak gesproken van 'opportunity costs'. Zo worden bijvoorbeeld de kosten van grond voor recreatie niet gesteld op de uitgaven voor de grondaankoop met de bijbehorende rente-kosten, maar op waarde van de - per jaar - gedeerde landbouwproduktie van die grond. In verband met dit kostenbegrip moeten in projectevaluaties de uitgaven soms - met behulp van 'rekenprijzen' - worden gecorrigeerd om de kosten voor bijv. arbeid of buitenlandse valuta te bepalen.

In de bedrijfseconomie ligt het accent in de definitie van kosten op het noodzakelijk zijn van de offers, dus op uitsluiting van verspilling.

Het is doelmatig om de term kosten (*c*) in alle gevallen te gebruiken voor bedragen op jaarbasis. De term investering is immers beschikbaar voor uitgaven voor productiemiddelen met een levensduur langer dan een jaar.

4.1.20. Kosten-Baten Analyse

Kosten-baten analyse (cost benefit analysis) (*CBA*) is gedefinieerd als de bepaling, op praktische wijze, van de wenselijkheid van projecten vanuit een brede visie op de finale effecten op de lange termijn, in een samenhangend geheel. Een verdere karakteristiek is dat de effecten zoveel mogelijk op één noemer worden gebracht. Die noemer is een in geld uitgedrukt 'nut'; dat is uitdrukkelijk meer dan marktprijzen (zie consumentensurplus en rekenprijzen). Effecten die niet op die noemer gebracht kunnen worden, worden als pro memoria (*PM*) posten beschreven.

De door de werkgroep 'Herziening Evaluatie LandinrichtingsPlannen' (*HELP*) voorgestelde methode is een vorm van *CBA*. In de uitwerking van die voorstellen tot de thans gebruikte werkwijze komt omrekening in geld niet meer voor. Het is daarom te verdedigen om die huidige werkwijze geen kosten-baten analyse te noemen. Voor een toelichting op de huidige werkwijze zie hfdst. IV. 5.1. Voor literatuur over *CBA* in het algemeen zie bijvoorbeeld het tijdschrift *Beleidsanalyse*. Voor eerdere literatuur zie bijv. *Kendal* (1971). Er is reden (vergelijk par. I. 4.1.10) om alleen van *CBA* te spreken bij evaluatie naar doelstelling van de subjecten. Duidelijkshalve wordt zo'n evaluatie soms aangeduid als 'sociaal economische *CBA*'. Dit staat dan tegenover een evaluatie naar doelstellingen van de overheid.

4.1.21. Kosten verdeling

Bij projecten met meervoudige doelstellingen (multiple purpose projects) kan in de evaluatie behoefte bestaan aan de verdeling van de kosten van een project over de doelstellingen (cost sharing). Indien ook de terugbetaling (reimbursement) moet worden aangegeven is die kostenverdelingsvraag evident. Een methode die uitgaat van hetgeen theoretische pro-

jecten voor de doelstellingen afzonderlijk zouden kosten (voor zover kleiner dan ondermeer de baten per doelstelling) is gepubliceerd in *Locht* (1982). Daarin zijn ook literatuurverwijzingen met betrekking tot andere methoden opgenomen.

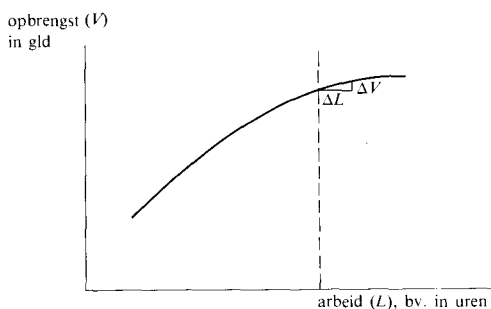
4.1.22. Lineaire programmering

Zie econometrie (hfdst. I. 4.2)

4.1.23. Marginale produktiviteit

Uit de productiefunctie (zie par. I. 4.1.29) is de marginale produktiviteit te bepalen. De marginale produktiviteit is de verandering van de opbrengst als gevolg van, en in verhouding tot, een kleine verandering in de hoeveelheid van één van de aangewende produktiefactoren, terwijl de overige produktiefactoren constant worden gehouden.

Figuur 4.1.5.
Marginale produktiviteit van arbeid.



De marginale produktiviteit van de arbeid is in figuur 4.1.5 $\Delta V / \Delta L$. Voor kleine veranderingen is de notatie $\delta(V) / \delta(L)$.

Volgens de grensproductiviteits-theorie (marginal productivity theory) is de hoeveelheid van een productiefactor optimaal als de marginale produktiviteit gelijk is aan de prijs. In de landbouw wordt hieraan in de regel niet voldaan door de ondeelbaarheid van de arbeid en een arbeidsoverschot in het algemeen. Dit heeft consequenties bij het eventueel waarderen van de arbeidsbesparingen die uit een project kunnen volgen als saldo van meer en minder arbeids aanspraken. Wanneer een arbeidsbesparing ten gevolge van cultuurtechnische werken wordt berekend van bijvoorbeeld 20 uur dan dienen deze voor de batenberekening niet gewaardeerd te worden tegen het C.A.O-loon maar tegen de marginale produktiviteit voor arbeid. Marginale produktiviteiten kunnen worden berekend uit gegevens over bedrijven door middel van bedrijfsprogrammering. In dat geval worden ze meestal schaduw prijzen genoemd.

Voor bedrijven waarbij de beloning voor de factor arbeid (gemiddeld) in de orde van grootte van het C.A.O-loon ligt moet de marginale produktiviteit gezien worden in de orde van grootte van 1/3 van het C.A.O-loon.

Een ernstige handicap in de toepassing is dat de veranderingen in arbeidsbehoefte veelal verschillende seizoenen betreffen, waarbij de grenswaarde van de arbeid van seizoen tot seizoen sterk uiteen kan lopen.

4.1.24. Multi criteria analyse

Terwijl de kosten-baten analyse (*CBA*) rekent met effecten, op het hoogste doelstellingsniveau welvaart (welfare), wordt er thans vaak voor gepleit om het als zodanig optellen (aggregeren) minder ver door te zetten en aldus effecten op verschillende (lagere) doelstellingsniveaux aan te wijzen.

Multicriteria analyse (*MCA*) wordt gebruikt als aanduiding voor hulpmiddelen bij de besluitvorming voor de 'optelling' van de verschillende effecten. In *MCA* wordt dus gewerkt met aparte en concurrerende doelstellingen. De *MCA* biedt de beslissers de mogelijkheid om met die concurrente doelstellingen een afweging te maken. In de Engelse literatuur wordt veelal gesproken over (onder meer) 'multi objective programming' en 'multi attribute problems' als verschillende namen voor eenzelfde probleemgebied (Cohon, 1978). Nijkamp (1979) reserveert *MCA* voor de keuze uit een eindig aantal alternatieven en 'multi objective programming' voor continue doelstellingsfuncties en dus een oneindig aantal mogelijkheden. Beide publicaties geven een overzicht van technieken. Een toepassing op een locatieprobleem in de landinrichting is gegeven in de Lopikerwaard Studie (*Werkgroep Lopikerwaard*, 1976). Een toepassing op de verdeling van grond over verschillende bestemmingen is gegeven in de Midden-Brabant Studie (*Werkgroep Methodologie*, 1983).

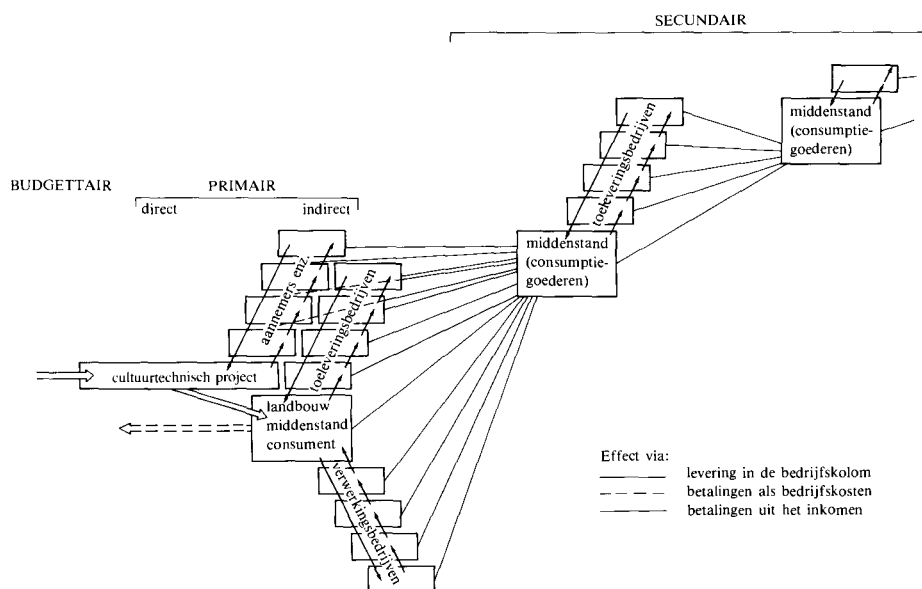
Opschoor (1974) noemt twee methoden waarbij via een gewichtenset de effecten uiteindelijk toch op één noemer zijn gebracht, kosten-effecten analyse. Hij reserveert *MCA* voor methoden die pretenderen tot een keuze te komen zonder transformaties.

Wezenlijke verschillen met *CBA* zijn:

- In *MCA* gaat het om waardeoordelen van de beslissers, het blijft steeds aan de beslissers om daarbij al dan niet in overeenstemming te zijn met de preferenties in de volkshuishouding zelf. In *CBA* op basis van subjecten preferenties (zie onder baten); wordt de beslissers beoordeeld (in nacalculaties) of wordt over waarden geadviseerd (in voorcalculaties).
- In *MCA* worden de waardeverhoudingen tussen enkele hoofddoelstellingen pas in het slot van de analyse verwerkt; in *CBA* zijn ze gelijk met de waardeverhoudingen tussen de subdoelstellingen in de analyse begrepen, bijvoorbeeld als rekenprijzen.
- Alle (bepaalde) effecten kunnen bij een *MCA* op dezelfde wijze een rol spelen, in de *CBA* ontstaat een onderscheid tussen op geld (of nut) herleide effecten en niet herleide effecten (PM-posten). Nogal eens worden -ten onrechte- in *MCA's* de effecten die in geld tot uitdrukking komen, weggelaten terwijl in de *CBA* de niet in geld uitgedrukte effecten
 - de PM posten - nogal eens onderbelicht blijven.
- Het gebruik van - vaak geavanceerde - wiskundige procedures in *MCA*.

4.1.25. Multiplier

De term betekent in wezen niets meer dan vermenigvuldigingsgetal. In eerste aanleg is het in de economie gebruikt voor het getal waarmee de initiële overheidsuitgaven (bijvoorbeeld de investeringen) vermenigvuldigd moeten worden om de impuls op het Nationaal Inkomen te kunnen berekenen. Hierbij wordt tot uitdrukking gebracht dat er door bijvoorbeeld een cultuurtechnisch werk niet alleen een besteding is bij de aannemers, maar dat ook de betrokken aannemers meer besteden bij de industrie, die op hun beurt meer besteden; een kettingreactie. Het lijkt zinrijk om ook de kettingreactie via veranderingen in de bedrijfsbestedingen van de boeren en de veranderingen via besteding van de inkomens als multiplier te behandelen. Dan zijn alle inkomenseffecten van het project welke berusten op de samenhang tussen de sectoren in de multiplier-problematiek samengevat. Hoe de uitvoering van een cultuurtechnisch project doorwerkt in een regionale economie kan als volgt schematisch worden weergegeven (fig. 4.1.6):



Figuur 4.1.6. Schema van de doorwerking van de uitvoering van een cultuurtechnisch project in de verschillende sectoren van de regionale huishouding.

Zowel wat betreft inhoud van de multiplier als wat betreft de bepaling in relatie tot projecten is een voor de Wereldbank uitgevoerde studie belangrijk. (Bell e.a., 1982). In de evaluatie van ruilverkavelingen in de Bondsrepubliek Duitsland wordt veel betekenis gehecht aan de multiplier. De berekeningsresultaten geven grote verschillen te zien en zijn sterk afhankelijk van de grootte van de beschouwde regio. Men komt uit in de orde van grootte van 1,5 tot 2.

In Nederland is het vooral het al of niet aan het project toerekenen al heel lang onderwerp van discussie. Recente voorbeelden zijn een studie naar het effect van dijkophoging (*Zuiderma*, 1982) en een studie van de herinrichting van de Veenkoloniën (*Rijks Universiteit Groningen*).

4.1.26. Nut

Met nut (utility), symbool U , wordt de behoeftebevrediging bedoeld. Bijzonder belangrijk is het begrip grensnut of marginaal nut, symbool MU , dit is de mate waarin de behoeftebevrediging toeneemt bij een kleine toename van de betreffende voorziening. Dit nut is op zichzelf niet meetbaar. Als conceptie speelt het echter in de economie een grote rol, zoals met name in de verklaring van de -dalende- vraagcurve. Deze vraagcurve geeft de subjectieve waarde (willingness to pay) (W) in relatie tot de hoeveelheid van een voorziening. Deze subjectieve waarde is een functie van enerzijds het nut, anderzijds de hoogte van het inkomen (Y) van de betrokken huishouding (de koopkracht). Bij de afweging van planalternatieven zijn soms ernstige fouten gemaakt door de afweging in 'willingness to pay', bijvoorbeeld tussen die voor parken op grote afstand (voor de rijken) en die voor parken in de stad (voor armen). Het is dan nodig om in 'nut' te rekenen door te corrigeren voor het effect van de verschillen in inkomen tussen de betrokken groepen. Meer hierover is gegeven in *Locht* (1976).

4.1.27. Optimale grootte

Het is gebruikelijk om grootte te meten aan de productie-capaciteit gedurende de normale levensduur; grootte wordt ook wel gemeten naar een productiefactor, land, kapitaal of arbeid (als in par. I. 4.1.4). De optimum grootte wordt soms bepaald met behulp van rendement per eenheid kapitaal, soms met de minimum kosten per eenheid produkt en ook wel met de verhouding produkt tot kosten of met de totale winst. Deze criteria behoeven niet tot dezelfde uitkomst te leiden. Indien men kan bepalen wat de beperkende factor is voor het betrokken 'bedrijf', kan wat optimaal is, gepreciseerd worden. Voor de Landinrichtings Dienst is vooral het budget de beperkende factor, zodat de optimum grootte voor projecten moet worden afgeleid uit de effecten per eenheid budget (par. I. 4.1.18). Voor de landbouwbedrijven is de beperkende factor vaak het eigen vermogen (of de beschikbare oppervlakte land); dan volgt de optimale grootte uit de gelijkheid van marginale(grens)-opbrengst van vermogen aan de de kosten, de rente en de afschrijving (analoog voor land).

4.1.28. Potentieel effect

Potentieel effect is het effect dat bereikt kan worden, zulks in tegenstelling tot het feitelijk effect. Wat bereikt kan worden wordt daarbij op verschillende wijzen geïnterpreteerd:

- theoretische condities
- proefveld condities
- bedrijfs condities

Bedrijfseconomische onderzoeken met lineaire programmering geven het potentieel effect meestal in die zin dat het effect berekend wordt bij het optimale bouwplan, optimale organisatie en soms ook bij optimale bedrijfsgrootte. Met andere woorden, een deel van het gedrag op de bedrijven is ingevuld als optimaal gedrag.

4.1.29. Productiefunctie

De productiefunctie is, ook in de economie, een technische relatie, namelijk de kwantitatieve relatie tussen de hoeveelheid aangewende productiefactoren en de daarmee verkregen hoeveelheid product. Bij het optellen van verschillende soorten producten worden wel prijzen gebruikt. Aanbevolen wordt om indien ook veranderingen in prijzen een rol spelen, te spreken van opbrengstfunctie. Uit een relatie voor de totale productie (de opbrengst) zijn per productiefactor, bij gegeven hoeveelheden van de andere productiefactoren, de gemiddelde en de marginale productiviteit (par. I. 4.1.23) te bepalen.

4.1.30. Prognose

Een prognose of raming is een vooruitberekening; hierbij moeten vooral worden onderscheiden:

- a) Prognoses in engere zin, die trachten zo goed mogelijk de werkelijke ontwikkelingen te beschrijven.
- b) Voorwaardelijke prognoses, daarbij worden de consequenties doorgerekend van meer of minder reële veronderstellingen (wanneer dit met een economisch model gebeurt spreekt men van een decisiemodel).

Bij regionale bevolkingsprognoses komen zowel autonome (regionale) prognoses en prognoses die het nationaal totaal verdelen voor. Er zijn daarbij prognoses die uitsluitend uitgaan van de aanbodzijde (demografische gegevens) of uitsluitend van de vraagzijde (werkgelegenheid).

Als typen prognoses zijn ook onderscheiden:

- retrospectieve prognoses, waaronder genoemde voorbeelden vallen;
- prospectieve prognoses, waaronder vallen 'science vision', 'toekomstscenario' en dergelijke.

Wanneer bij deze vorm van prognoses wordt aangegeven waarop (kwantitatief) de 'vision' is gebaseerd, wordt het verschil met eerder genoemde methoden meer een kwestie van gradatie.

4.1.31. Project economie

Zie inleiding van dit hoofdstuk (hfdst. I. 4.1)

4.1.32. Rekenprijzen

Een rekenprijs (accounting price) is een bedrag waarvoor is aangetoond, of waarvan wordt aangenomen, dat het de waarde per eenheid beter weergeeft dan de werkelijke prijs. De eenheden kunnen daarbij producten (zoals melk) betreffen, dan wordt vaak de prijs op de wereldmarkt gebruikt. De eenheden kunnen ook de productiefactoren betreffen met rekenprijzen voor pacht, loon of rente. Rekenprijzen zijn oneigenlijke prijzen, die bijvoorbeeld worden gebruikt in een rekenprogramma wanneer de marktprijzen niet 'vrij' tot stand komen (zie ook onder kosten). De rekenprijzen worden in de regel als de marginale productiviteit bepaald (zie par. I. 4.1.23). Literatuur: *Tinbergen*, (1957).

4.1.33. Standaard bedrijfseenheden

Het aantal standaard bedrijfseenheden (*SBE*) voor een agrarisch bedrijf is een maatstaf voor de productieomvang van dat bedrijf en van de afzonderlijke productierichtingen binnen dat bedrijf.

Economisch gezien wordt de grootte van een bedrijf bepaald door de netto-toegevoegde waarde. Deze netto toegevoegde waarde omvat de opbrengst van grond, kapitaal en arbeid en het ondernemers-overschot. De *SBE* is gebaseerd op de netto toegevoegde waarde voor bedrijven met een doelmatige bedrijfsgrootte en bedrijfsvoering.

Sommatie van het totaal aantal *SBE*'s van de gewassen en dieren op een bedrijf geeft de productieomvang van dit bedrijf weer.

Het begrip *SBE* werd door het LEI in 1968 geïntroduceerd en wordt periodiek herzien; voor het laatst in 1986.

In de gecombineerde uitgave van het LEI en CBS (Landbouwcijfers) staat een toelichting en zijn de eenheden per gewas en per diersoort vermeld.

4.1.34. Toegevoegde waarde

Toegevoegde waarde is de waarde van de totale productie minus de waarde van in het productieproces verbruikte goederen en diensten. Indien daarbij ook de waardevermindering van de kapitaalgoederen is verwerkt spreekt men van netto toegevoegde waarde (zie ook inkomen, par. I. 4.1.13).

4.1.35. Literatuur

- Bell, C., 1982
Regional Perspective. Hopkins univ.Press.
- Bundesministerium für Raumordnung, 1978
Regionale Wirkungen der Flurbereinigung. Bonn.
- Cohon, J.L., 1978
Multi Objective Programming and Planning. Londen.
- Hennipman, P., 1977
Welvaartstheorie en Economische Politiek. Sampson, Alphen aan de Rijn.
- Janssen, R., 1984
Evaluatiemethoden van Milieubeleid en -Beheer. Econ. en Soc. Inst. Vrije Universiteit, Amsterdam.
- Kendall, 1971
Cost-Benefit Analysis. English University Press, London.
- Korteweg en Keesing, 1978, 1979, 1981
Het moderne Geldwezen. Noord Holland, Amsterdam.
- Landinrichtingsdienst, 1983
De HELP-methode voor de evaluatie van landinrichtingsprojecten; beschrijving en verantwoording. Staatsuitgeverij, 's-Gravenhage.
- Landinrichtingsdienst, 1984
De HELP-methode voor de evaluatie van landinrichtingsprojecten; toelichting en uitwerking. Staatsuitgeverij, 's-Gravenhage.
- Locht, L.J., 1970a
Abschätzung Kulurtechnische Projekte in den Niederlanden. Verspr. Overdr. 107 Instit. voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Wageningen.
- Locht, L.J., 1970b
Berekening van de interne rentevoet als middel bij de selectie van cultuurtechnische plannen. Nota 577 Instit. voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Wageningen.
- Locht, L.J., 1976
Economic and Small-scale Enviromental Effects; Some Case Studies. Verspr. Overdr. 192 Instit. voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Wageningen.
- Locht, L.J., 1980
Berekeng van investeringstrappen als middel bij de selectie van cultuurtechnische plannen. Meded. nieuwe serie nr. 1 Instit. voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Wageningen.
- Locht, L.J., 1982
Allocation of watermanagement costs. Economic Instruments for rational utilization of waterresources. Comm. Hydr. Onderz. TNO, Versl. en meded. 29b : p. 179-204.
- Nykamp, P., 1977
Multidimensional special data and decision analysis.
- Opschoor, 1974
Economische waardering van milieuverontreiniging.
- Tinbergen, J., 1957
Design of Development.
- Werkgroep Lopikerwaard, 1976
De landinrichting van de Lopikerwaard. Regionale Studies 4/IV Instit. voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Wageningen.
- Werkgroep Methodologie, 1983
Landinrichtingsstudie Midden Brabant. Pudoc Wageningen.
- Zuidema, T., 1982
Een onderzoek naar de alternatieve kosten van Overheidsprojecten. Theorie en Emperie, Meppel

4.2. Econometrie

4.2.1. Plaatsbepaling econometrie

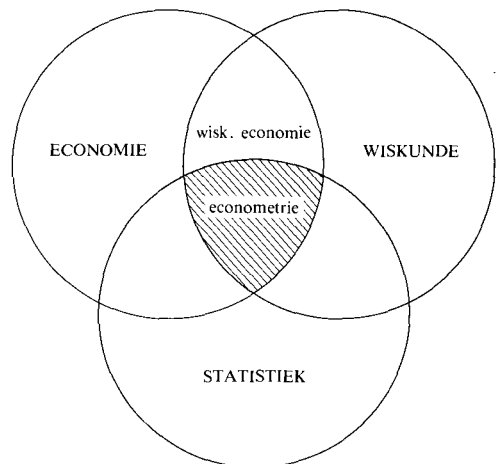
De geboortedatum van de econometrie is 29 december 1930 toen Ragnar Frisch en Irving Fisher de 'Econometric Society' oprichtten. De econometrie is voortgekomen uit de behoefte in de economische wetenschap om de door middel van redeneringen beschreven relaties tussen de economische grootheden te kunnen beschrijven met behulp van wiskundige formuleringen en te kunnen kwantificeren met behulp van statistische gegevens. Evenals in de economie kunnen er in de econometrie twee richtingen onderscheiden worden: de algemene econometrie (waarvan Jan Tinbergen één van de grondleggers is) en de bedrijfs-econometrie.

De algemene econometrie is voornamelijk gericht op macro economische grootheden (nationaal inkomen, werkgelegenheid e.d.); de bedrijfs-econometrie is gericht op het oplossen van problemen die zich in een onderneming voordoen (bijvoorbeeld de bepaling van de optimale voorraad van een bepaald artikel als de kosten van voorraad houden gegeven zijn).

Naast modelbouw ligt de nadruk in de algemene econometrie op schattingstechnieken (kwantificeren van relaties) en in de bedrijfs-econometrie op optimaliseringsmethodes (bijv. bepaling van het optimale voorraadbeheer of minimalisering van transportkosten). In algemene termen kan de econometrie worden gedefinieerd als: *"het met behulp van wiskundige methodes en schattingstechnieken kwantificeren en toetsen van door middel van verbale redeneringen weergegeven economische relaties"*.

De plaats van de econometrie tussen wiskunde, economie en statistiek is schematisch weergegeven in figuur 4.2.1.

*Figuur 4.2.1.
Schematische weergave van de
plaats van de econometrie.*



In deze figuur is ook de wiskundige economie genoemd. Wiskundige economie is de tak van de economische wetenschap waarbij wiskundige symbolen en wiskundige methodes gebruikt worden voor het weergeven en analyseren van economische relaties.

Een bekend vraagstuk uit de wiskundige economie is de bepaling van de voorwaarden waaronder op een bepaalde economische markt (= denkbeeldige ontmoetingsplaats van vraag en aanbod) een stabiel evenwicht mogelijk is. De wiskundige economie is, in tegenstelling tot de econometrie, niet gericht op het schatten van de relaties.

4.2.2. Het gebruik van modellen.

Een model is een weergave van de werkelijkheid waarin de voor de betreffende vraag van belang zijnde factoren zijn opgenomen en waarbij andere aspecten, indien mogelijk, genegeerd worden.

De weergave van de werkelijkheid kan gebeuren door de werkelijkheid op een andere schaal en/of met behulp van andere materialen na te bootsen. Voorbeelden hiervan zijn de modelspoorbaan en het weergeven van de stroming van water door middel van electriciteit.

Naast deze fysieke modellen bestaat de mogelijkheid de werking van een systeem weer te geven door middel van één of meer wiskundige vergelijkingen. Deze wiskundige modellen vormen de basis van de econometrie.

De in de econometrie gebruikte modellen kunnen, globaal, worden onderverdeeld in:

- beschrijvende modellen.

Dit zijn modellen die beogen een beschrijving te geven van (een deel van) een economisch systeem met als doel de werking van het systeem nader te analyseren. Dit soort modellen wordt ook in de wiskundige economie veel gebruikt.

- optimaliseringsmodellen.

Dit zijn modellen die beogen een beschrijving te geven van (een deel van) een systeem, zodanig dat het door oplossing van het model mogelijk is een optimale beslissing te nemen. Dit type modellen wordt in de bedrijfs-econometrie veel gebruikt. Toepassing van optimaliseringsmodellen vindt in de cultuurtechniek steeds vaker plaats. Een mogelijke onderverdeling van optimaliseringsmodellen is:

a. modellen waarin alle variabelen op één noemer (meestal geld) herleid kunnen worden.

Denk hierbij bijvoorbeeld aan lineaire programmeringsmodellen.

b. multi criteria modellen. Dit zijn modellen waarin de variabelen niet op één noemer herleid kunnen worden. Een in de cultuurtechniek veel voorkomend voorbeeld hiervan is de afweging van de belangen van 'landbouw' en 'natuur'.

- voorspelmodellen.

Dit zijn modellen die (een deel van) een systeem beschrijving met als doel de werking van het systeem in de toekomst of onder andere omstandigheden te voorspellen. Dit type modellen wordt veel toegepast in de algemene econometrie en in de cultuurtechniek (bij voor- en nacalculaties). Een mogelijke onderverdeling van de voorspelmodellen is:

- a. tijdreeksmodellen. Dit zijn modellen die beogen de ontwikkeling van een of meer variabelen (grootheden) te voorspellen op basis van de ontwikkeling van deze variabelen (grootheden) in het verleden, zonder dat een verklaring gegeven wordt van het proces dat de waarde van de variabelen (grootheden) bepaalt.
- b. verklarende modellen. Dit zijn modellen die beogen de waarde van één of meer variabelen (grootheden) te verklaren door deze te beschrijven als functie van één of meer variabelen (grootheden) waarvan de waarde mogelijk buiten het (deel)systeem bepaald wordt.

Het indelingscriterium voor deze indeling is het doel waarvoor het model gebruikt wordt. Dit is één van de vele mogelijkheden; andere mogelijkheden zijn de indeling in:

- *lineaire en niet-lineaire modellen.*

Deze indeling is afhankelijk van de vorm van de vergelijkingen.

- *stochastische en deterministische modellen.*

Hierbij hangt de indeling af van het al dan niet in het model opgenomen zijn van stochastische (dit is van het toeval afhankelijke) variabelen en/of coëfficiënten.

- *dynamische en statische modellen.*

Hierbij hangt de indeling af van het al dan niet opnemen van de ontwikkeling (meestal in de tijd) van de met het model beschreven variabelen.

De vergelijkingen in een model bevatten variabelen en constanten. Met betrekking tot de variabelen kunnen worden onderscheiden:

- *afhankelijke variabelen (endogene variabelen).*

Dit zijn variabelen waarvan de waarde door het model bepaald wordt.

- *onafhankelijke variabelen (exogene variabelen).*

Dit zijn variabelen waarvan de waarde buiten het model bepaald wordt. Bij toepassing van het model is de waarde van een exogene variabele gegeven.

- *beheersbare variabelen ('control' variabelen).*

Dit is een speciaal type exogene variabele waarvan de waarde door de gebruiker van het model bepaald kan worden. In veel gevallen is de gebruiker van het model geïnteresseerd in de uitkomst van het model voor verschillende waarden van de beheersbare variabelen.

Voorbeeld

Een voorbeeld van een vergelijking waarin deze drie typen variabelen voorkomen is:

Veronderstel dat de overheid een voorspelling wil van het bedrag aan investeringen in de landbouw (I), dit is een endogene variabele. Veronderstel tevens dat de omvang van de investeringen afhankelijk is van het in de landbouw verdiende inkomen in het voorafgaande jaar (Y) en van het bedrag dat de overheid wil besteden aan investeringssubsidies in de landbouw (S). Het inkomen wordt door de overheid als gegeven beschouwd; dit betreft dus een exogene variabele. Het bedrag aan investeringssubsidies wordt door de overheid (de gebruiker van het model) vastgesteld; dit is een beheersbare variabele.

Het model ziet er als volgt uit:

$$I = a + b \cdot Y + c \cdot S$$

hierbij zijn a , b en c constante coëfficiënten.

Door verschillende waarden in te vullen voor S en door vergelijking van de uitkomsten kan de overheid bepalen wat voor haar het 'beste' bedrag aan investeringssubsidies is.

In het voorbeeld is uitgegaan van het meest eenvoudige model, namelijk een model dat uit één vergelijking bestaat. In de praktijk bestaan modellen vaak uit meer vergelijkingen waarbij een variabele die in een vergelijking bepaald wordt, in andere vergelijkingen als verklarende variabele op kan treden (dus rechts van het = teken). Deze modellen kunnen worden geschreven in een vorm waarin links van het = teken alleen endogene variabelen en rechts van het = teken alleen exogene variabelen en beheersbare variabelen voorkomen. Deze vorm van het model heet de herleide vorm van het model. Dit wordt in het volgende voorbeeld geïllustreerd.

Voorbeeld

Ga uit van het volgende model met twee endogene variabelen (x en y) en een exogene variabele (z):

$$y = a + b \cdot x + z$$

en

$$x = c + d \cdot z$$

Voor de herleide vorm van dit model moet gelden dat de endogene variabelen (x en y) links van het = teken moeten staan en de exogene variabele (z) rechts. Dit leidt tot het volgende herleide vorm model:

$$y = A + B \cdot z$$

en

$$x = c + d \cdot z$$

waarbij : $A = a + b \cdot c$

en : $B = b \cdot d + 1$

Het gebruik van modellen in de bedrijfs-econometrie is voornamelijk gericht op het bepalen van de optimale waarde van de endogene variabelen. Hierbij wordt gebruik gemaakt van wiskundige methodes. In de algemene econometrie worden de modellen voornamelijk gebruikt om een systeem en de ontwikkeling van dit systeem te beschrijven. Het accent ligt hierbij op het bepalen (schatten) van de waarden van de coëfficiënten. Bij het schatten worden methodes uit de (wiskundige) statistiek gebruikt. Naast het schatten van de coëfficiënten is het bepalen van de betrouwbaarheid van de geschatte relaties en van coëfficiënten van belang.

4.2.3. Optimaliseringsmodellen

Optimaliseringsmodellen dienen om de beslisser behulpzaam te zijn bij het nemen van beslissingen. Het beslissingsprobleem wordt beschreven door een doelstellingsfunctie en een aantal randvoorwaarden.

De doelstellingsfunctie is de (wiskundige) weergave van de doelstellingen van de beslisser.

De randvoorwaarden (ook wel beperkingen genoemd) beschrijven de voorwaarden waaraan de beslissing moet voldoen. Dit kunnen bijvoorbeeld beperkingen ten gevolge van het beschikbare machinepark zijn of een beperkte arbeidsinzet. De combinatie van een doelstellingsfunctie met een aantal randvoorwaarden vormt het optimaliseringsmodel.

In verg. 4.2.1 is de algemene gedaante van een optimaliseringsmodel gegeven; hierbij is uitgegaan van een maximaliseringsprobleem. Voor een minimaliseringsprobleem geldt dat de ongelijkheden $\geq$ zijn in plaats van $\leq$. De endogene variabelen in een optimaliseringsprobleem worden wel beslisvariabelen genoemd, omdat de beslisser voor deze variabelen de optimale waarde probeert te vinden. De algemene gedaante van het model is:

$$\max_x F(x) \quad (4.2.1)$$

zodanig dat:

$$G_1(x) \leq b_1$$

$$G_m(x) \leq b_m$$

$$x \geq 0$$

Hierbij is:

$x = (x_1, \dots, x_n)$: de vector met beslisvariabelen

$F(x), G_j(x)$: functies van de beslisvariabelen, deze functies behoeven niet noodzakelijk lineair te zijn.

b_j : gegeven constanten.

Oplossing van het optimaliseringsprobleem geeft de voor de beslisser optimale beslissing.

Voorbeeld

Een voorbeeld van een optimaliseringsprobleem is:

Stel dat een landbouwbedrijf de keuze heeft uit drie gewassen die verschillen in arbeidbehoefte, waterbehoefte en in opbrengst. Het probleem is de bepaling van het areaal van elk van de gewassen zodanig dat de totale opbrengst (Z) maximaal is en dat aan de voorwaarden met betrekking tot arbeid en watergebruik wordt voldaan. Een extra voorwaarde is dat de toedeling het totale areaal van het bedrijf niet mag overschrijden. Als het gewas van areaal i wordt weergegeven met X_i , kan het probleem als volgt worden weergegeven:

$$\max Z = C_1 \cdot X_1 + C_2 \cdot X_2 + C_3 \cdot X_3$$

waarbij:

$$A_{1,1} \cdot X_1 + A_{1,2} \cdot X_2 + A_{1,3} \cdot X_3 \leq B_1$$

$$A_{2,1} \cdot X_1 + A_{2,2} \cdot X_2 + A_{2,3} \cdot X_3 \leq B_2$$

$$A_{3,1} \cdot X_1 + A_{3,2} \cdot X_2 + A_{3,3} \cdot X_3 \leq B_3$$

$$X_1, X_2, X_3 \geq 0$$

De betekenis van de coëfficiënten is in de volgende tabel aangegeven:

	gewas 1	gewas 2	gewas 3	max. capaciteit
arbeidsbehoefte (per ha)	$A_{1,1}$	$A_{1,2}$	$A_{1,3}$	B_1
watergebruik (per ha)	$A_{2,1}$	$A_{2,2}$	$A_{2,3}$	B_2
areaal	1	1	1	B_3
opbrengst (per ha)	C_1	C_2	C_3	

In het voorbeeld is een optimaliseringsmodel beschreven waarvan de doelstellingsfunctie F en de randvoorwaarden lineaire functies van de beslisvariabelen zijn. In de praktijk is dit lang niet altijd het geval.

Complicaties die zich voor kunnen doen zijn:

- . een niet-lineaire doelstellingsfunctie
- . één of meer niet lineaire randvoorwaarden
- . beslisvariabelen die, binnen de randvoorwaarden, niet continu zijn bijv. variabelen die alleen gehele getallen mogen zijn.
- . beslisvariabelen die niet op één noemer (meestal geld) te herleiden zijn

Uitgaande van op één noemer herleidbare beslisvariabelen kunnen de optimaliseringsmodellen worden onderverdeeld in:

- *lineaire programmeringsmodellen (LP-modellen).*

Dit zijn modellen waarvan zowel de doelstellingsfunctie als de randvoorwaarde lineaire functies van de beslisvariabelen zijn, terwijl de beslisvariabelen continu zijn binnen de randvoorwaarden. Onder de LP-modellen worden ook de modellen begrepen die strikt genomen geen LP-modellen zijn maar die eenvoudig tot LP-modellen te herleiden zijn. Hierbij kan worden gedacht aan:

- a. modellen met 'verkeerde ongelijkheden'. Dit zijn $\leq$ beperkingen in plaats van $\geq$ beperkingen. Dit kan worden ondervangen door de ongelijkheden $G(x) \leq b$ te vervangen door $-G(x) \geq -b$.
- b. modellen waarvan één of meer beperkingen gelijkheden zijn in plaats van ongelijkheden. In dit geval kan een gelijkheid worden vervangen door twee ongelijkheden:
 $A = B$ wordt dan $A \geq B$ en $A \leq B$.
- c. modellen met één of meer variabelen die onbeperkt zijn in teken. Dat houdt in dat

de waarde van deze variabelen zowel positief als negatief mag zijn. Dit kan worden opgelost door in teken niet beperkte variabelen gelijk te stellen aan het verschil van twee positieve variabelen en vervolgens door dit verschil te vervangen. Dus als X onbeperkt in teken is wordt X gelijk gesteld aan $Y - Z$ en vervolgens hierdoor vervangen. Het lineaire programmeringsmodel is waarschijnlijk de meest gebruikte vorm van het optimaliseringsmodel.

- *uitbreidingen van het lineaire programmeringsmodel.*

Dit zijn optimaliseringsmodellen waarvan de doelstellingsfunctie en de beperkingen lineaire functies van de beslisvariabelen zijn terwijl aan de beslisvariabelen extra voorwaarden, bijvoorbeeld geheeltaligheid, opgelegd worden. Ook netwerk modellen behoren tot deze categorie.

- *niet-lineaire programmeringsmodellen.*

Dit zijn modellen waarbij de doelstellingsfunctie een niet lineaire functie is van de beslisvariabelen, waarvan de beperkingen lineair zijn en waarvan de beslisvariabelen continue zijn binnen de randvoorwaarden.

- *klassieke optimaliseringsmodellen.*

De klassieke optimaliseringsmodellen hebben niet noodzakelijk een lineaire doelstellingsfunctie en worden verder gekarakteriseerd door randvoorwaarden in de vorm van gelijkheden in plaats van ongelijkheden. Deze modellen zijn vaak niet eenvoudig oplosbaar.

Omdat LP-modellen veel gebruikt worden is er een groot aantal oplossingsprocedures (algorithmes) voor ontwikkeld. Deze procedures berusten in de meeste gevallen op dezelfde principes; daarom is het zinvol summier op deze principes in te gaan. In de figuren 4.2.2 tot 4.2.4 is de oplossing van het volgende probleem weergegeven.

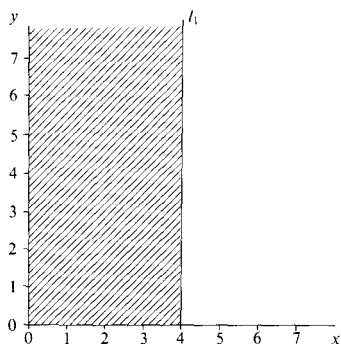
$$\max_{x,y} z = 3x + 5y \quad (4.2.2)$$

zodanig dat:

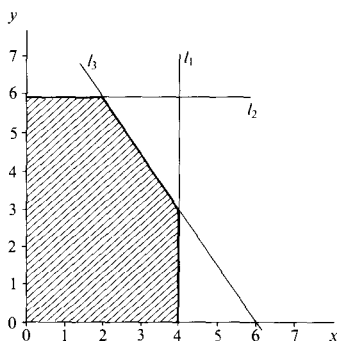
$$\begin{aligned} x &\leq 4 \\ y &\leq 6 \\ 3x + 2y &\leq 18 \\ x, y &\geq 0 \end{aligned}$$

In figuur 4.2.2 geeft het gearceerde gedeelte alle met betrekking tot de eerste beperking ($x \leq 4$) toelaatbare combinaties van x en y . De lijn l_1 correspondeert met deze beperking. Naast l_1 zijn de voorwaarden $x \geq 0$ en $y \geq 0$ aangehouden.

In figuur 4.2.3 zijn ook de andere beperkingen toegevoegd. De lijn l_2 correspondeert met de beperking $y \leq 6$ en de lijn l_3 met de beperking $3x + 2y \leq 18$. Het in deze figuur gearceerde gedeelte geeft alle toelaatbare combinaties van x en y .

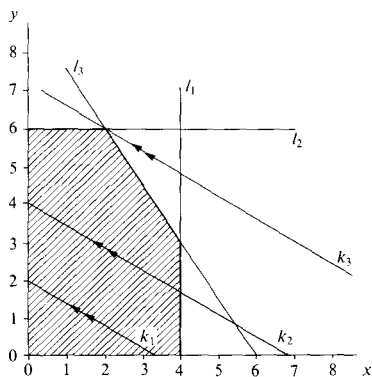


Figuur 4.2.2.
Toelaatbare oplossingen met betrekking tot $x \leq 4$.



Figuur 4.2.3.
Oplossingsruimte voor het in verg. 4.2.2 gestelde probleem.

In figuur 4.2.4 ten slotte is ook de doelstellingsfunctie geïntroduceerd. De lijn k_1 correspondeert met $z = 3x + 5y = 10$. De lijn k_2 , die evenwijdig is aan k_1 , correspondeert met $z = 3x + 5y = 20$. Het is eenvoudig in te zien dat door de lijn k_2 evenwijdig aan k_1 naar rechts te verschuiven steeds hogere waarden voor z verkregen worden. De hoogste waarde voor z wordt verkregen bij de lijn k_3 waarbij $z = 36$. Dit is de hoogste waarde die z aan kan nemen.



Figuur 4.2.4. De optimale oplossing van het probleem (verg 4.2.2).

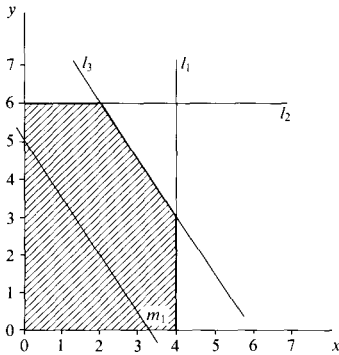
Op deze wijze is getracht aannemelijk te maken dat de optimale waarde van een lineair programmeringsmodel zich altijd in één van de hoekpunten van de verzameling van toelaatbare oplossingen bevindt. Het kan ook gebeuren dat de maximale oplossing van een lineair programmeringsmodel niet een hoekpunt is, maar dat de maximale waarde van z verkregen wordt voor een groot aantal toelaatbare combinaties van x en y . Dit wordt in het volgende voorbeeld aangetoond.

$$\max_{x,y} z = 3x + 2y \quad (4.2.3)$$

zodanig dat:

$$\begin{aligned} x &\rightarrow 4 \\ y &\leq 6 \\ x + 2y &\leq 18 \\ x, y &\geq 0 \end{aligned}$$

In vergelijking met (4.2.2) is alleen de doelstellingsfunctie gewijzigd. In dit geval loopt de lijn m_1 ($z = 3x + 2y = 10$) evenwijdig aan l_3 , waardoor de maximale waarde van z verkregen wordt voor alle punten, inclusief de hoekpunten, van de lijn l_3 . Dit is weer gegeven in figuur 4.2.5.



Figuur 4.2.5. De oplossing van het in verg. 4.2.3 gestelde probleem.

Het oplossen van LP-modellen op de hiervoor beschreven grafische wijze is mogelijk in het geval dat het model twee variabelen bevat. Als het model meer dan twee variabelen bevat is dit niet meer mogelijk omdat nu niet meer in het platte vlak gewerkt kan worden. Voor het oplossen van LP-modellen is daarom een aantal algorithmes ontwikkeld die op systematische wijze de hoekpunten van de verzameling van toelaatbare oplossingen af-tasten. Hierbij wordt steeds een hoekpunt geselecteerd dat correspondeert met een ten minste even goede (maar in de meeste gevallen met een betere) oplossing. Het meest toe-gepaste algoritme is de Simplex methode. Een uitvoerige beschrijving van deze methode is gegeven in *Hillier and Lieberman* (1970). Een nieuwe ontwikkeling op dit gebied lijkt te zijn ingezet door Karmarkar die een algoritme heeft geformuleerd waarbij niet de hoekpunten worden afgezocht, maar die door middel van projecties en transformaties de optimale oplossing genereerd. Deze methode is beschreven in *Karmarkar* (1984).

Naast de optimaliseringsmodellen waarvan de beslisvariabelen op één noemer herleid kunnen worden zijn er optimaliseringsmodellen waarvoor dit niet mogelijk is. Dit zijn de multi-criteria modellen, ook wel multi-objective of multi-attribute modellen ge-noemd. Dit type modellen wordt steeds meer gebruikt. Denk bijvoorbeeld aan het uitvoe-

ren van een (maatschappelijke) kosten-baten analyse bij de beoordeling van cultuurtechnische projecten. Voor het oplossen van multi-criteria modellen wordt meestal één van de volgende procedures gevolgd.

- a. Onderstel dat er D verschillende dimensies onderscheiden worden (een dimensie is de meeteenheid van een beslisvariabele). Dan worden voor de variabelen in $(D - 1)$ dimensies voorwaarden opgesteld zodanig dat de beslisser tevreden is met de resultaten als aan deze voorwaarden voldaan is. De betreffende beslisvariabelen worden uit de doelstellingsfunctie verwijderd. Het model dat hierna overblijft bevat slechts op één noemer herleidbare variabelen. Soms wordt na oplossing van het herleide probleem met de beslissingnemer overlegd of de gevonden oplossing bevredigend is of dat de ingevoerde (extra) voorwaarden aangepast moeten worden.
- b. Er wordt zo lang mogelijk gewerkt in de verschillende dimensies waarna op de één of andere wijze de verschillende dimensies op één noemer herleid worden. Meestal gebeurt dit, in overleg met de beslisser, door het invoeren van wegingsfactoren die het relatieve belang van de verschillende dimensies weergeven. Op deze wijze wordt het probleem herleid tot een probleem in één dimensie.
- c. In de maatschappelijke kosten-baten analyse, die in feite een speciaal geval van de voorgaande procedure is, worden alle variabelen die op geld herleidbaar zijn in de doelstellingsfunctie opgenomen. De overige variabelen worden slechts als PM-posten genoemd.

Een overzicht van multi-criteria modellen en mogelijke oplossingsmethodes is beschreven in *Nijkamp* (1979).

4.2.4. Het schatten van regressievergelijkingen.

De coëfficiënten in de modellen die in de algemene econometrie gebruikt worden zijn onbekend. Het gevolg hiervan is dat aan deze coëfficiënten waarden moeten worden toegekend voordat met behulp van het model uitspraken (bijv. prognoses) kunnen worden gedaan. De toekenning van waarden (schatting) gebeurt door gebruik te maken van schattingstechnieken uit de wiskundige statistiek.

Door het gebruik van deze technieken is het mogelijk om naast de geschatte waarde van de coëfficiënt (puntschatting) ook een uitspraak te doen omtrent de betrouwbaarheid van de waarde (intervalschatting). Aan de hand van een model dat bestaat uit een lineaire vergelijking met een aantal verklarende variabelen wordt nader ingegaan op het schatten en toetsen van de coëfficiënten. Dit model wordt het lineaire regressiemodel genoemd. Daarna wordt een aantal van de problemen besproken die zich hierbij voor kunnen doen. Het schatten van modellen die uit meer dan één vergelijking bestaan (simultaneous equations systems) gebeurt volgens dezelfde principes. Op de complicaties die zich daarbij voor kunnen doen wordt hier niet ingegaan.

De lineaire regressievergelijking heeft de volgende gedaante:

$$y = a_1 + a_2 \cdot x_2 + \dots + a_K \cdot x_K + \varepsilon \quad (4.2.4)$$

Dit kan ook geschreven worden als:

$$y = a_1 \cdot x_1 + a_2 \cdot x_2 + \dots + a_K \cdot x_K + \varepsilon \quad (4.2.5)$$

Hierbij is:

- y : de te verklaren variabele
- x_k : een verklarende variabele. De waarde van x_k is gegeven.
Voor x_1 geldt dat deze gelijk is aan een, dus $x_1 = 1$.
($k = 1, \dots, K$)
- a_k : de (onbekende) coëfficiënt van x_k ($k = 1, \dots, K$)
- ε : de onbekende, stochastische storingsterm met een bekende kansverdeling en met verwachting nul.

De motivering voor het opnemen van een stochastische storingsterm is:

- a. De regressievergelijking is een schematische, vereenvoudigde weergave van de werkelijkheid. In werkelijkheid wordt de waarde van y bepaald door oneindig veel factoren waarvan de x_k de belangrijkste zijn. Het netto effect van de andere factoren, waarvan verwacht wordt dat het gering is, is opgenomen in de storingsterm.
- b. Naast een aantal factoren wordt het menselijk gedrag door het toeval beïnvloed. Deze invloed, die niet te modelleren is, is opgenomen in de storingsterm.
- c. De waarde van de variabele y is een waarneming. Dit betekent dat er waarnemingsfouten op kunnen treden. Deze eventuele waarnemingsfout is ook opgenomen in de storingsterm. Hierbij wordt verondersteld dat de grootte van de waarnemingsfout onafhankelijk is van de waarde van y .

In de praktijk wordt y opgevat als de uitkomst van een aselechte trekking uit een populatie. De verklarende variabelen zijn hierbij gekoppeld aan de waarneming y (en zijn gegeven). Het schatten van de coëfficiënten geschiedt aan de hand van n waarnemingen y_i die worden beschouwd als een aselechte steekproef uit de populatie. Hierbij worden de volgende voorwaarden opgelegd:

- . het aantal waarnemingen (n) moet groter zijn dan het aantal verklarende variabelen (K).
- . de verklarende variabelen moeten onderling onafhankelijk zijn.
- . de storingstermen moeten onderling onafhankelijk zijn, ze moeten een gelijke kansverdeling hebben met verwachting nul en variantie σ^2 . Meestal wordt verondersteld dat de storingstermen normaal verdeeld zijn.

Er geldt dat de verklarende variabelen ook transformaties van variabelen mogen zijn zoals bijvoorbeeld $\log(x_i)$ of $1/x_i$.

Het schatten van de lineaire regressievergelijking bestaat uit het bepalen van waarden voor de coëfficiënten $a_1, \dots, a_K$ en voor de parameter σ^2 . Voor het schatten wordt meestal de (gewone) kleinste kwadraten methode (ordinary least squares method, afgekort OLS) gebruikt.

Naast de kleinste kwadraten methode kunnen ook andere schattingsmethodes gebruikt worden. Voorbeelden zijn de maximale aannemelijkheidsschatters (maximum likelihood estimators) en de Bayesiaanse schatters.

In het navolgende wordt nader ingegaan op de werking van de kleinste kwadraten methode. Voor de afleiding van de hierbij gehanteerde formules wordt verwezen naar Theil (1971). Stel dat $b_1, \dots, b_K$ de geschatte waarden van de coëfficiënten zijn, dan is de schatting voor de i -e waarneming y_i .

$$\hat{y}_i = b_1 \cdot x_{i,1} + \dots + b_K \cdot x_{i,K} \quad (4.2.6)$$

waarbij $x_{i,k}$ de waarde van de k -e verklarende variabele bij de i -e waarneming is. De voorspelfout e_i wordt gedefinieerd als:

$$e_i = y_i - \hat{y}_i = y_i - \sum_k b_k \cdot x_{i,k} \quad (4.2.7)$$

De kleinste kwadraten methode bepaalt de waarde van de b_k zodanig dat de som van de gekwadrateerde voorspelfouten geminimaliseerd wordt. Dit is weergegeven in vergelijking (4.2.8).

$$\min \sum_i (e_i)^2 = \min \sum_i \{y_i - \sum_k (b_k \cdot x_{i,k})\}^2 \quad (4.2.8)$$

Als matrixnotatie wordt geïntroduceerd kan één en ander als volgt worden geschreven (de nummers van de formules zijn de nummers van de formules zonder matrixnotatie):

$$y = X \cdot a + \varepsilon \quad (4.2.4)$$

$$\hat{y} = X \cdot b \quad (4.2.5)$$

en

$$\min \{e'e\} = \min \{(y - Xb)'(y - Xb)\} \quad (4.2.8)$$

waarbij:

$$y = \begin{pmatrix} y_1 \\ \vdots \\ y_n \end{pmatrix} ; \quad X = \begin{pmatrix} x_{1,1} & \dots & x_{1,K} \\ \vdots & & \vdots \\ x_{n,1} & \dots & x_{n,K} \end{pmatrix} ; \quad \hat{y} = \begin{pmatrix} \hat{y}_1 \\ \vdots \\ \hat{y}_n \end{pmatrix}$$

$$a = \begin{pmatrix} a_1 \\ \vdots \\ a_K \end{pmatrix} ; \quad b = \begin{pmatrix} b_1 \\ \vdots \\ b_K \end{pmatrix} ; \quad \varepsilon = \begin{pmatrix} \varepsilon_1 \\ \vdots \\ \varepsilon_m \end{pmatrix} ; \quad e = \begin{pmatrix} e_1 \\ \vdots \\ e_m \end{pmatrix}$$

Met een ' wordt de getransponeerde van de betreffende matrix of vector aangegeven. Oplossen van (4.2.8) geeft de kleinste kwadraten schatters voor de coëfficiënten:

$$b = (X' \cdot X)^{-1} X' \cdot y \quad (4.2.9)$$

Naast schatters voor de coëfficiënten moeten ook schatters voor de parameter meter σ^2 (dit is s^2) en voor de variantie matrix van b (dit is V_b) worden bepaald.

$$s^2 = \frac{1}{n - K} e' \cdot e \quad (4.2.10)$$

en

$$V_b = s^2 (X' \cdot X)^{-1} \quad (4.2.11)$$

De kleinste kwadraten schatter heeft de volgende eigenschappen:

- . de schatters zijn zuiver. Dit wil zeggen dat de (mathematische) verwachting van de schatter gelijk is aan de werkelijke waarde.
- . de schatters zijn lineair. Lineair wil zeggen dat de schatter een lineaire combinatie van de waarnemingen y_i is.
- . de schatters hebben minimale variantie. Hieronder wordt verstaan dat er geen andere zuivere lineaire schatters zijn met een kleinere variantie dan de kleinste kwadraten schatters.

Nadat de coëfficiënten zijn geschat is het onder ander van belang om te weten hoe goed de te verklaren variabele door de geschatte relatie verklaard wordt; hoe betrouwbaar de geschatte waarden van de coëfficiënten zijn en of er geen verklarende variabelen zijn opgenomen die in feite geen bijdrage aan de verklaring van y leveren (dit zijn variabelen met een coëfficiënt die niet significant van nul verschilt). Hiertoe zijn een aantal toetsgrootheden ontwikkeld waarvan er enkele summier besproken worden:

- *de (multiële) correlatiecoëfficiënt.*

De correlatiecoëfficiënt R^2 is een maat voor de kwaliteit van de beschrijving van de te verklaren variabele door de geschatte regressievergelijking.

Eigenlijk moet gesproken worden van de gekwadrateerde correlatiecoëfficiënt; in de praktijk echter wordt meestal de term correlatiecoëfficiënt gebruikt. De correlatiecoëfficiënt is gelijk aan het quotiënt van de verklaarde variatie in de endogene variabele en de waargenomen variatie in de endogene variabele.

Als maat voor de variatie wordt voor de verklaarde variatie

$$\sum_i (\hat{y}_i - \bar{\hat{y}})^2$$

genomen waarbij $\bar{\hat{y}}$ de gemiddelde waarde van $\hat{y}_i$ is.

Voor de waargenomen variatie wordt als maat genomen

$$\sum_i (y_i - \bar{y})^2$$

waarbij $\bar{y}$ de gemiddelde waarde van y_i is.

Dit geeft:

$$R^2 = \frac{\sum_i (\hat{y} - \bar{\hat{y}})^2}{\sum_i (y_i - \bar{y})^2} \quad (4.2.12)$$

In vergelijking 4.2.13 worden een aantal equivalente formuleringen van R^2 gegeven, zonder dat nader op de afleidingen wordt ingegaan.

$$R^2 = \frac{\sum_i e_i}{\sum_i (y - \bar{y})^2} = \frac{\sum_i \{(\hat{y}_i - \bar{\hat{y}}) \cdot (y_i - \bar{y})\}}{\sum [y_i - \bar{y}]^2 \cdot \sum (\hat{y}_i - \bar{\hat{y}})} \quad (4.2.13)$$

Er geldt dat de waarde van de correlatiecoëfficiënt tussen nul en één ligt. De verklaring is beter naarmate de waarde van de correlatiecoëfficiënt R^2 dichter bij één ligt.

- de geschatte standaardafwijking van de coëfficiënten.

Dit is een maat voor de betrouwbaarheid van de geschatte waarde van de coëfficiënten. Met behulp van de standaardafwijking kunnen betrouwbaarheidsintervallen (interval schattingen) voor de coëfficiënten worden berekend. De variantie matrix van de coëfficiënten is V_b (zie vergelijking 4.2.12). Dit is een (K,K) -matrix waarvan de diagonaal-elementen de variantie van de coëfficiënten weergeven en de niet diagonaal-elementen de covarianties tussen de geschatte coëfficiënten (voor een beschrijving van de begrippen variantie en covariantie wordt verwezen naar het onderdeel wiskunde).

V_b kan worden weergegeven als in vergelijking 4.2.14.

$$V_b = s^2 (X' \cdot X)^{-1} = s^2 \cdot A = s^2 \begin{pmatrix} a_{1,1} & \dots & a_{1,K} \\ \vdots & & \vdots \\ a_{K,1} & \dots & a_{K,K} \end{pmatrix} \quad (4.2.14)$$

Er geldt dat $s^2 \cdot a_{k,k}$ de variantie van b_k
 en $s^2 \cdot a_{k,l}$ de covariantie tussen b_k en b_l is
 (voor $k = 1, \dots, K$; $l = 1, \dots, K$ en k ongelijk l).

De standaardafwijking, ook wel standaarddeviatie genoemd, is de wortel uit de variantie

$$sd_{(k)} = \sqrt{s^2 \cdot a_{k,k}} \quad (4.2.15)$$

Als vuistregel kan worden gehanteerd dat de geschatte waarde van een coëfficiënt betrouwbaarder is naarmate de absolute waarde van het quotiënt b_k/sd_k groter is.

- *de t-toets.*

De *t*-toets wordt gebruikt om na te gaan of de geschatte coëfficiënt al dan niet significant van nul verschilt. Er kan worden gesteld dat de bijdrage aan de verklaring (van de endogene variabele) door een verklarende variabele met een geschatte coëfficiënt die niet significant van nul verschilt, gering is. In de meeste gevallen kan deze variabele beter weggelaten worden. De algemene gedaante van de *t*-toets grootheid die toetst of de waarde van b_k significant afwijkt van een vooraf gespecificeerde waarde be_k is:

$$t = \frac{\text{geschatte coëfficiënt} - \text{gespecificeerde waarde}}{\text{standaard deviatie van de geschatte coëfficiënt}}$$

ofwel

$$t = \frac{b_k - be_k}{sd_k} \quad (4.2.16)$$

De toetsgrootheid t heeft de *Student-t* verdeling met $(n - K)$ graden van vrijheid. In de meeste statistiek boeken zijn tabellen opgenomen van deze verdeling. Er geldt dat hoe groter de absolute waarde van t is, des te groter de kans is dat b_k significant van be_k verschilt. Een vuistregel is dat significantie optreedt als $t > 2$. Om te toetsen of een geschatte coëfficiënt significant van nul verschilt wordt be_k gelijk aan nul genomen.

Naast de genoemde toetsgrootheden wordt er in de econometrie een aantal andere toetsgrootheden gebruikt. In dit kader is het echter niet zinvol daar nader op in te gaan. Wel is het goed stil te staan bij enkele complicaties die zich bij het schatten voor kunnen doen. Ook hiervan wordt een beperkte opsomming gegeven.

- *multicollineariteit.*

In het voorgaande is verondersteld dat de verklarende variabelen onderling onafhankelijk zijn. In werkelijkheid echter komt het vaak voor dat een verklarende variabele gecorreleerd is met één of meer andere verklarende variabelen, bijvoorbeeld:

. perfecte multicollineariteit : $x_2 = f + g \cdot x_3$

. niet perfecte multicollineariteit: $x_2 = f + g \cdot x_3 + \varepsilon$

met ε een (stochastisch) storingsterm en f en g constanten.

Als multicollineariteit optreedt is het niet mogelijk de invloed van de variabelen afzonderlijk te bepalen (in het geval van perfecte multicollineariteit) of hebben de geschatte coëfficiënten een grote onbetrouwbaarheid. Bovendien zijn de uitkomsten moeilijk interpreteerbaar.

Als er multicollineariteit optreedt is het verstandig om tot een andere specificatie over te gaan of om een andere (dan de OLS) schattingsmethode te gebruiken.

- *heteroskedasticiteit.*

Bij het lineaire regressie model is verondersteld dat de storingstermen onderling onafhankelijk zijn met gelijke variantie. Dit betekent dat de variantie matrix van de storingstermen als volgt geschreven kan worden:

$$V_{\epsilon} = \sigma^2 \cdot I, \quad \text{met } I = \begin{pmatrix} 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 1 & & \\ & & \ddots & \\ 0 & & & 1 \end{pmatrix} \quad (4.2.17)$$

In de praktijk kan het geval zich voordoen dat de variantie matrix de volgende gedaante heeft:

$$V_{\epsilon} = \sigma^2 \cdot \begin{pmatrix} c_1 & & 0 \\ & \ddots & \\ 0 & & c_n \end{pmatrix} \quad (4.2.18)$$

met c_i ongelijk één voor tenminste één waarde van i . Dit is het geval van heteroskedasticiteit. De storingstermen zijn onafhankelijk maar hebben verschillende variantie. In dit geval leidt toepassing van de gewone kleinste kwadraten methode tot zuivere schatters met een variantie die niet minimaal is. Dit houdt in dat er ten minste een lineaire zuivere schatter is met een kleinere variantie. Het is in dit geval aan te raden een aangepaste schattingsprocedure te volgen.

- *autocorrelatie.*

Autocorrelatie doet zich voor als de storingstermen onderling afhankelijk zijn. Dit betekent dat de covarianties tussen storingstermen niet nul zijn, ofwel:

$$V_{\epsilon} = V \quad (4.2.19)$$

waarbij V geen diagonaal matrix is.

Toepassing van de gewone kleinste kwadraten methode als autocorrelatie optreedt leidt tot:

- . zuivere schatters met een variantie van de schattingen die onnodig groot is vergeleken met die van een andere (zuivere) lineaire schattingsmethode.
 - . een ernstige onderschatting van de variantie van de coëfficiënten.
 - . inefficiënte voorspellingen, dat wil zeggen voorspellingen met onnodig grote varianties.
- Als autocorrelatie optreedt moet een aangepaste schattingsprocedure gevolgd worden.

- *het optreden van veranderingen die een niveau verschuiving tot gevolg hebben.*

Hierbij kan bijvoorbeeld worden gedacht aan veranderingen ten gevolge van de olie-crisis van 1973, aan niveau verschillen tussen seizoenen of aan de invloed van kwalitatieve variabelen als *sexe*, *sociale status* e.d.. Dit kan worden opgevangen door de introductie van *dummie variabelen*. *Dummie variabelen* zijn variabelen die de waarde een aannemen als een verschijnsel zich voordoet en de waarde nul als dit niet het geval is.

Bijvoorbeeld: $d_t = 1$ jaren na 1973 (olie-crisis)

$d_t = 0$ jaren voor 1973

Een regressie vergelijking die een aantal *dummie variabelen* als verklarende variabelen heeft kan met de gewone kleinste kwadraten methode geschat worden. Als de te verklaren variabele een *dummie variabele* is dan moet worden over gegaan op andere schattingsprocedures. Een bekend voorbeeld van een *dummie variabele* als te verklaren variabele is het al dan niet kopen van een auto met als verklarende variabelen *inkomen*, *sociale status* en dergelijke.

In het voorgaande is een aantal complicaties geschetst die zich voor kunnen doen bij het schatten van de lineaire regressie vergelijking. Voor een verdere bespreking van deze complicaties en de mogelijke oplossingen hiervan wordt verwezen naar bestaande literatuur (bijvoorbeeld *Theil* (1971), *Johnston* (1972), en *Goldberger* (1964)).

4.2.5. Literatuur

Goldberger, A.S., 1964

Econometric Theory. Wiley and Sons Inc., New York

Hillier, F.S. en G.J. Lieberman, 1970

Introduction to Operations Research, Holden-Day Inc., San Fransisco.

Johnston, J., 1972

Econometric Methods. MCGraw-Hill Book Company Inc., New York.

Karmarkar, N., 1984

A New Polinomial-Time Algorithm for Linear Programming. Proceedings 16th ACM Symposium on Theory of Computing, Washington DC.

Nijkamp, P., 1979

Multidimensional Spatial Data and Decision Analysis. Wiley and Sons Inc., New York.

Theil, H., 1971

Principles of Econometrics. Wiley and Sons Inc., New York.

5. Remote sensing

5.1. Inleiding

Remote sensing (RS) betekent letterlijk *van afstand waarnemen*. Andere gangbare termen om dit vakgebied aan te duiden zijn *teledetectie* en *aardobservatie*.

Doel van het waarnemen is het verzamelen van gegevens over het aardoppervlak en processen die zich daarop afspelen om daaruit informatie over het aardoppervlak en de aard, de toestand en de fase van deze processen af te leiden. Deze informatie wordt afgeleid uit de wijze waarop door de aardoppervlak en objecten aan het aardoppervlak elektromagnetische straling wordt gereflecteerd en/of wordt uitgezonden.

De toepassingsmogelijkheden van RS liggen vooral op het vlak van het volgen van processen (monitoring), inventarisaties en onderzoek.

De moderne elektronische RS-systemen zijn te beschouwen als hulpmiddelen om de waarnemingsmogelijkheden van het menselijk oog uit te breiden. Zowel het golflengtegebied waarin, als de gevoeligheid waarmee kan worden waargenomen, zijn groter. Het waarnemen vanuit de lucht of vanuit de ruimte heeft bovendien als voordeel dat het object in samenhang met zijn omgeving wordt waargenomen.

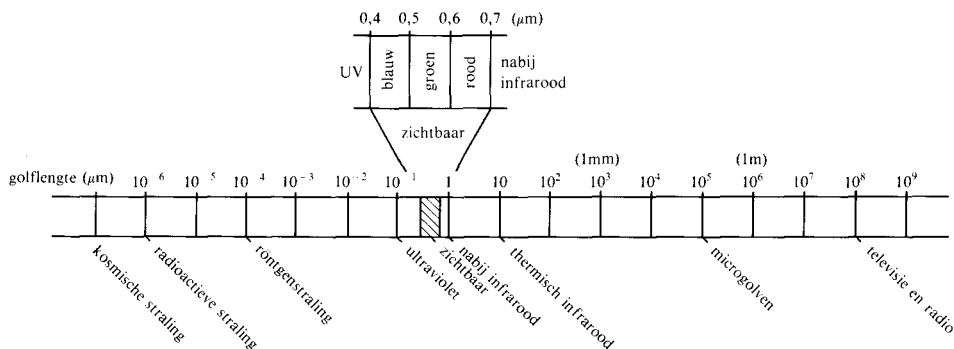
5.2. Elektromagnetische straling

5.2.1. Algemeen

Onder elektromagnetische straling wordt straling verstaan die bestaat uit een elektrische en een magnetische component. Elektromagnetische straling wordt gekarakteriseerd door:

- golflengte (λ) (voor langere golflengten ook vaak uitgedrukt als frequentie (f) in Hz; omrekening $c = \lambda \cdot f$, $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$)
- amplitude ("signaalsterkte" of "intensiteit");
- polarisatierichting en polarisatiegraad;
- fase.

Veel golflengtebanden uit het spectrum van elektromagnetische straling hebben benamingen die samenhangen met het gebruik. Figuur 5.2.1 geeft hiervan een overzicht.



Figuur 5.2.1. Het elektromagnetische spectrum.

5.2.2. Stralingsbronnen

Natuurlijke stralingsbronnen

Ieder object met een temperatuur boven het absolute nulpunt ($0^\circ\text{K} = -273^\circ\text{C}$) zendt EM-straling uit. Naarmate de temperatuur van het object hoger wordt, neemt de emissie van EM-straling toe en breidt het golflengtegebied waarin straling wordt uitgezonden zich uit in de richting van de kortere golflengten. In figuur 5.2.2A is de spectrale verdeling gegeven van de door de zon en de aarde uitgezonden EM-straling.

De golflengte waarin de uitstraling maximaal is (λ_{max}), is afhankelijk van de temperatuur van het stralend lichaam. De λ_{max} van door de zon uitgezonden EM-straling is circa $0,5 \mu\text{m}$ en van door de aarde uitgezonden straling circa $10 \mu\text{m}$.

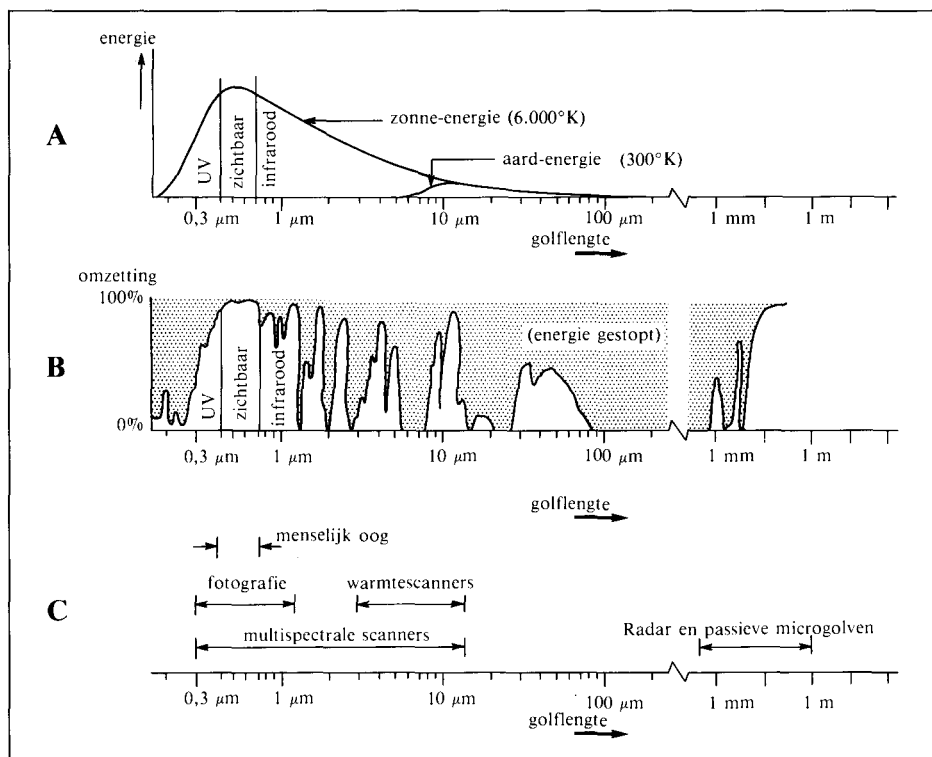
Kunstmatige stralingsbronnen

Bij kunstmatige stralingsbronnen wordt EM-straling langs kunstmatige weg gegenereerd. Het gebruik van deze stralingsbronnen in de RS is te vergelijken met het gebruik van een flitser in de fotografie. Voordeel van kunstmatige stralingsbronnen is dat de spectrale karakteristiek van de uitgezonden straling constant is en de pulsdur in principe regelbaar is. Kunstmatige stralingsbronnen worden onder andere toegepast bij:

RADAR - (RADio Detecting And Ranging) en bij
LIDAR - (LIGht Detecting And Ranging) technieken.

De LIDAR, waarbij een laser als stralingsbron wordt toegepast, verkeert nog in een experimenteel stadium en wordt hier daarom niet besproken.

RS-systemen waarbij gebruik wordt gemaakt van natuurlijke stralingsbronnen worden *passieve* RS-systemen genoemd. Bij toepassing van kunstmatige stralingsbronnen spreekt men van *actieve* RS-systemen.



Figuur 5.2.2. Spectrale karakteristiek van energiebronnen (A), atmosferische effecten (B) en RS-systemen (C). (Naar Lillesand and Kiefer, 1979.)

5.2.3. Invloed van de atmosfeer op de EM-straling

In figuur 5.2.2B is de doorlatendheid van de atmosfeer gegeven in relatie tot de golflengte van de EM-straling. Golflengtebanden waarin de doorlatendheid van de atmosfeer relatief groot en de absorptie dus gering is, worden aangeduid met de term *venster*.

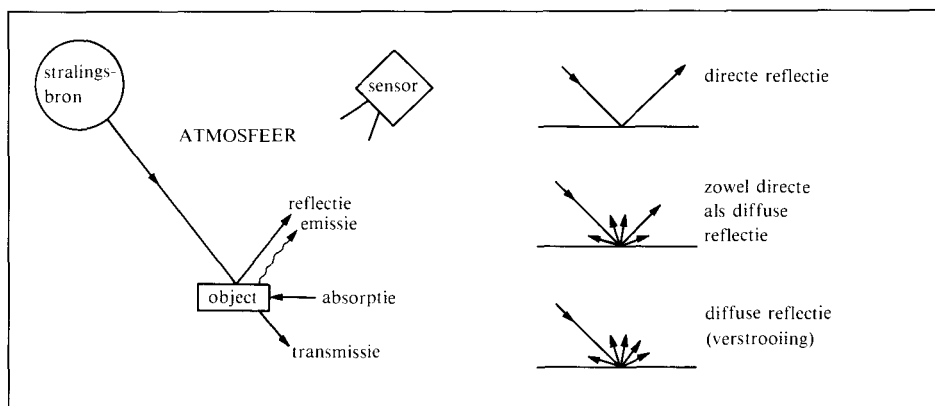
De volgende vensters worden onderscheiden:

golflengtegebied	benaming
0,4 - 1,1 μm	zichtbaar licht + nabij-infrarood
3 - 5 μm	thermisch venster
8 - 14 μm	thermisch venster
> 1 mm	microgolf venster

Ook in de vensters wordt de EM-straling beïnvloed door de atmosfeer. Afhankelijk van de atmosferische omstandigheden heeft dit in meer of mindere mate consequenties voor de waarneming. In figuur 5.2.2C is aangegeven met welke sensoren in de verschillende golflengtegebieden kan worden waargenomen.

5.2.4. Reflectie en emissie van EM-straling door objecten

Als EM-straling op een object valt, wordt een deel van de opvallende straling gereflecteerd, een deel geabsorbeerd en een deel doorgelaten (figuur 5.2.3).



Figuur 5.2.3. Interactie van EM-straling met het object.

Reflectie

De reflectie wordt in hoofdzaak bepaald door:

- de hoek waaronder de EM-straling invalt;
- de ruwheid van het reflecterend oppervlak;
- de spectrale reflectie-eigenschappen van het object;
- de spectrale samenstelling van de opvallende straling.

Om de relatieve spectrale reflectie van een object te kunnen bepalen, is het noodzakelijk dat de spectrale samenstelling van de opvallende en gereflecteerde straling wordt gemeten. Bij toepassing van een kunstmatige stralingsbron is de opvallende straling een vast gegeven. Naarmate men in smallere golflengtebanden kan waarnemen (hoog spectraal scheidend vermogen) kan de spectrale reflectie nauwkeuriger worden bepaald.

Emissie

Straling die wordt geabsorbeerd voegt energie aan het object toe. Deze energie zal, voor zover deze niet wordt verbruikt ten behoeve van bijvoorbeeld de fotosynthese, de temperatuur van het object doen stijgen.

Zoals in par. I. 5.2.2 reeds genoemd, zendt ieder object met een temperatuur boven het absolute nulpunt ook EM-straling uit.

De emissie wordt bepaald door:

- de temperatuur (T) van het object;
- de emissie-coëfficiënt (ϵ) van het object.

De emissiecoëfficiënt is een verhoudingsgetal dat de emissie van het object aangeeft ten opzichte van een ideaal zwart lichaam met dezelfde temperatuur (voor groene vegetatie is ϵ circa 0,98, voor kale grond 0,90-0,95).

De totale hoeveelheid uitgezonden energie (W) bedraagt

$$W = \epsilon \sigma T^4 \quad (\text{W} \cdot \text{m}^{-2})$$

In deze formule is σ de constante van Boltzmann ($= 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$). Voor een ideaal zwart lichaam (black-body) is ϵ per definitie gelijk aan 1.

De golflengte waarin de uitstraling maximaal is (λ_{max}), kan berekend worden met de wet van Wien.

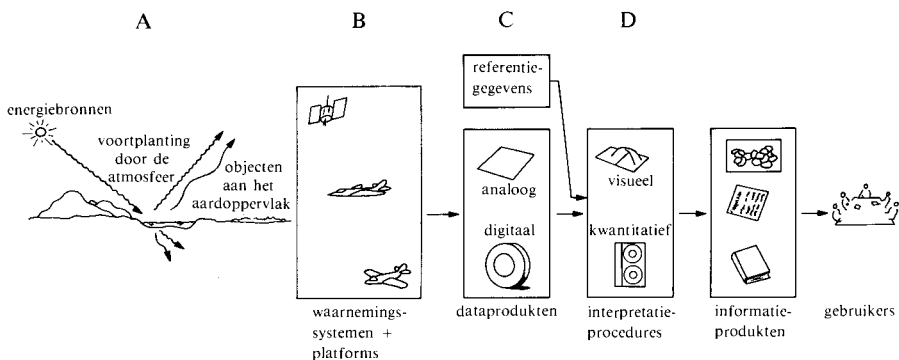
$$\lambda_{\text{max}} = 2897 \cdot T^{-1} \quad (\mu\text{m})$$

5.3. Principe van RS

5.3.1. Algemeen

In figuur 5.3.1 is het principe van RS schematisch samengevat. De door het aardoppervlak en de hierop aanwezige objecten gereflecteerde en/of uitgezonden elektromagnetische straling (A) wordt waargenomen en geregistreerd door middel van een "sensing"-systeem (B) gemonteerd in een vliegtuig of in een satelliet (platforms). De verzamelde informatie (C) wordt vervolgens geïnterpreteerd met behulp van referentiegegevens.

Deze interpretatie (D) kan zowel visueel (foto's, grafisch beeldscherm) als kwantitatief met behulp van een computer plaatsvinden.



Figuur 5.3.1. Principe RS-procedure. (Naar Lillesand and Kiefer, 1979.)

De mate van nauwkeurigheid waarmee kan worden geregistreerd, wordt het *scheidend vermogen* of de *resolutie* genoemd. Daarbij wordt onderscheid gemaakt in geometrisch, radiometrisch, spectraal en temporeel scheidend vermogen.

- geometrisch* : het kleinste detail dat nog juist kan worden gedetecteerd;
- radiometrisch* : het kleinste intensiteitsverschil dat nog juist kan worden gedetecteerd;
- spectraal* : het kleinste golflengtegebied waarin nog afzonderlijk kan worden waargenomen;
- temporeel* : de kortst mogelijke tijdsduur tussen twee opeenvolgende opnamen (bij satellietopnamen is dit een vast gegeven).

Het radiometrisch en spectraal scheidend vermogen bepalen mede het geometrisch scheidend vermogen.

5.3.2. Platforms

Gebruikelijke platforms zijn vliegtuigen en satellieten. In tabel 5.3.1 zijn een aantal kenmerkende verschillen vermeld. Belangrijke voordelen van vliegtuig RS zijn de flexibiliteit en het relatief grote geometrisch scheidend vermogen. De kosten zijn echter relatief hoog. Voor kleine objecten wordt soms gebruik gemaakt van ultra lichte vliegtuigen (ULV). ULV's zijn in principe alleen bruikbaar voor fotografische opnametechnieken.

Bij satelliet-RS ligt de opnameschaal, opnametijdstip en opnamefrequentie vast. Bovendien is vanwege bewolking niet iedere opname bruikbaar. De toepasbaarheid van satellietopnamen wordt wel steeds groter, omdat het geometrisch scheidend vermogen van de nieuwe apparatuur steeds beter wordt. Hierdoor en door de relatief lage kosten zal in de toekomst de satelliet-RS voor landobservatie een steeds belangrijker plaats gaan innemen.

Tabel 5.3.1. Vergelijking tussen vliegtuig en satelliet-RS.

	Vliegtuig	Aardobservatiesatelliet
Opnameschaal	naar keuze	staat vast
Opnametijdstip	naar keuze	staat vast
Opnamefrequentie	naar keuze	staat vast ¹⁾
Scheidend vermogen:		
radiometrisch	instelbaar	staat vast
geometrisch	tot ± 1 m	tot ± 10 m (landsat. 60-80 m)
Kosten	hoog ²⁾	laag
Beschikbaar komen opnamen	vrijwel direct	tenminste enkele weken

¹⁾ Bruikbaarheid onzeker in verband met bewolking.

²⁾ Mede afhankelijk van de opnametechniek.

5.3.3. Sensoren

De sensor is het medium dat de EM-straling ontvangt en omzet in een signaal. Dit signaal wordt direct of indirect omgezet in een beeld of beeldelement.

De sensor kan zijn:

- fotografische emulsie* : EM-straling wordt omgezet in een densiteit;
- foto-elektrische cel* : EM-straling wordt omgezet in een elektrisch signaal;
- radar-antenne* : EM-straling wordt omgezet in een elektrisch signaal.

Het is van belang dat de respons van de sensor constant is in de tijd. Bij fotografische technieken kan dit een probleem zijn, omdat de sensor (de film) wordt verbruikt.

5.4. RS-opnametechnieken

5.4.1. Fotografische luchtopnametechnieken

Algemeen

De luchtfotografie is de oudste vorm van RS. De toepassingen liggen vooral op het gebied waar geometrische informatie het belangrijkste is, bijvoorbeeld kartografie. Momenteel wordt ook de spectrale informatie voor andere toepassingsgebieden meer benut.

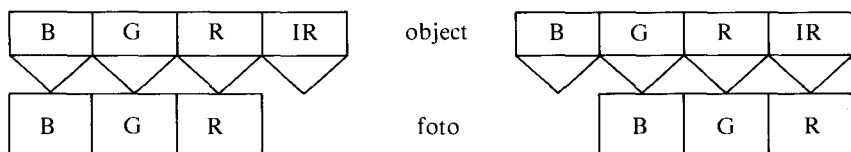
Luchtfotografie wordt primair onderverdeeld in *verticaal* en *oblique* fotografie.

Bij verticaal fotografie staat de hoofdas van de camera loodrecht op het aardoppervlak; bij oblique fotografie onder een bepaalde hoek. Verticaal fotografie wordt het meest toegepast en heeft het voordeel dat in hetzelfde horizontale vlak de opnameschaal overal gelijk is.

Een tweede onderverdeling die gemaakt kan worden is naar type film dat gebruikt wordt, bijvoorbeeld zwart-wit, zwart-wit infrarood, kleur, kleur infrarood (= false colour). Daarnaast kan ook onderscheid worden gemaakt naar opnametechniek.

False colour-fotografie

In principe wijkt de false colour-fotografie niet af van de normale kleurenfotografie, met dien verstande dat het spectraal bereik en de kleurkoppeling van de emulsielaag verschoven is (zie figuur 5.4.1.)



Figuur 5.4.1. Weergave van de kleuren bij een normale foto (links) en bij een false colour-foto (rechts.)

B = blauw, G = groen, R = rood en IR = infrarood.

De tinten op de false colour-foto hebben niets te maken met temperatuurverschillen zoals ten onrechte vaak wordt beweerd. Er wordt alleen gereflecteerde nabij infrarood-straling tot een golflengte van 0,9 à 1,1 μm geregistreerd.

False colour- of kleurinfrarood-fotografie wordt vooral toegepast voor de bestudering van vegetatiedekken.

Multi spectrale fotografie (MSP)

Onder multispectrale fotografie, ook multiband fotografie genoemd, wordt verstaan het afzonderlijk waarnemen in verschillende golflengtebanden.

Voor dit doel wordt gebruik gemaakt van 3 à 4 camera's met voorzetfilters, met daarin zwart-wit of zwart-wit infrarood films. Per camera wordt in één specifieke golflengteband waargenomen. De bandbreedte kan afhankelijk van de filterkeuze sterk variëren.

Stereo-fotografie

Door een object (aardoppervlak) vanuit 2 verschillende posities op dezelfde schaal te fotograferen kan hiervan, bij bestudering onder een stereoscoop, een ruimtelijke indruk worden verkregen. Met behulp van deze methode kan kwantitatieve informatie over de hoogte van objecten worden verkregen.

5.4.2. Elektronische RS-technieken

Algemeen

Belangrijke voordelen van de moderne elektronische RS-technieken zijn:

- vergroting spectraal bereik (warmtestraling + radar);
- hoger spectraal scheidend vermogen;
- hoger radiometrisch scheidend vermogen;
- gegevens worden digitaal vastgelegd;
- sensor wordt niet verbruikt zoals bij fotografische RS-technieken.

De elektronische RS-technieken kunnen worden onderverdeeld in systemen met een foto-elektrische cel als sensor, de zogenaamde *scanners*, en die met een antenne als sensor, de *microgolf-technieken*.

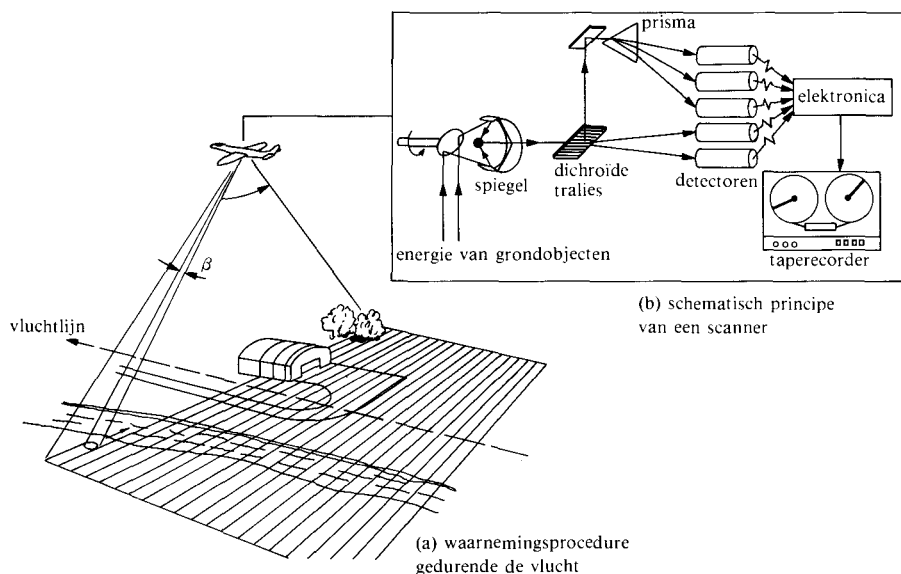
Scanner-technieken

Afhankelijk van het golflengtegebied waarin wordt waargenomen, kunnen de volgende scanner-technieken worden onderscheiden:

- Multi Spectrale Scanning (MSS);
- Infra Red Line Scanning (IRLS).

Met MSS wordt gereflecteerd zonlicht geregistreerd; met IRLS (ook thermografie genoemd) door het object uitgezonden warmtestraling. Vaak bedoelt men met MSS impliciet IRLS.

In figuur 5.4.2 is het principe van een scanner schematisch weergegeven. Met behulp van een snel ronddraaiende spiegel wordt het aardoppervlak loodrecht op de vliegrichting



Figuur 5.4.2. Principe van een scanner. (Naar Lillesand and Kiefer, 1979.)

lijn voor lijn afgetast (line-scan). De EM-straling, die door het object wordt uitgezonden of gereflecteerd, komt via de roterende spiegel en een tralie of een prisma op een detector terecht. Het tralie en het prisma hebben tot doel de inkomende EM-straling te splitsen in een aantal golflengtebanden. Vaak is minimaal één detector gevoelig voor warmtestraling.

Het inkomende signaal wordt geijkt met behulp van een referentielichtbron; warmtestraling met behulp van één of meer black-bodies.

De grootte van het grondoppervlak, dat op de detector wordt afgebeeld, varieert afhankelijk van de vlieghoogte van slechts enkele vierkante meters tot enkele honderden vierkante meters. Een zo'n grondoppervlakje wordt afgebeeld in één pixel of beeldelement (*pixel* is afgeleid van Picture Element).

Momenteel worden scanners ontwikkeld waarbij het mogelijk is een hele scanlijn ineens op te nemen.

Microgolf-technieken

De microgolf-technieken kunnen worden onderverdeeld in *passieve* en *actieve* technieken. Bij de passieve technieken, de radiometrie, worden door het object uitgezonden microgolven (temperatuurstraling) geregistreerd. Bij de actieve technieken, de RADAR, wordt een kunstmatige stralingsbron gebruikt.

Vanwege de geringe interactie van microgolven met de atmosfeer, wordt weinig hinder ondervonden van bewolking. Daarom bestaat er grote belangstelling voor deze technieken voor toepassing in gebieden die vaak langdurig bewolkt zijn.

Radiometrie

De radiometrie berust op hetzelfde principe als de thermografie. Vanwege de geringe hoeveelheid uitgezonden energie in het microgolfgebied is het geometrisch scheiden vermogen echter zeer laag (zie fig. 5.2.2A). De toepassing van radiometrie beperkt zich derhalve in hoofdzaak tot disciplines waar de geometrische informatie van ondergeschikt belang is, zoals bijvoorbeeld de oceanografie.

Radar

Bij RADAR bevinden de sensor (antenne) en de stralingsbron zich beiden aan boord van het platform.

Het waarnemen in het microgolfgebied wijkt sterk af van het waarnemen in bijvoorbeeld het zichtbare deel van het EM-spectrum, al lijken de geproduceerde beelden wel op elkaar. Het verschil zit hem in de verhouding van de golflengte waarmee wordt waargenomen en de grootte van het object. Men spreekt in dit verband over de optische ruwheid. Als de golflengte veel kleiner is dan de oneffenheden van het reflecterend oppervlak dan is de reflectie diffuus (fig. 5.2.3).

Is de golflengte waarmee wordt waargenomen veel groter dan deze oneffenheden, dan spreekt men van optisch glad en treedt overwegend directe reflectie op.

Ook binnen het microgolfgebied leidt dit tot verschillen en is het bij bestudering van de opnamen belangrijk te weten in welke golflengte band (zie tabel 5.4.1) het beeld is opgenomen.

Bij RADAR wordt behalve de sterkte van het terugontvangen signaal ook de polarisatierichting in beschouwing genomen.

Tabel 5.4.1. Radar Band benamingen. (Naar Lillesand and Kiefer, 1979).

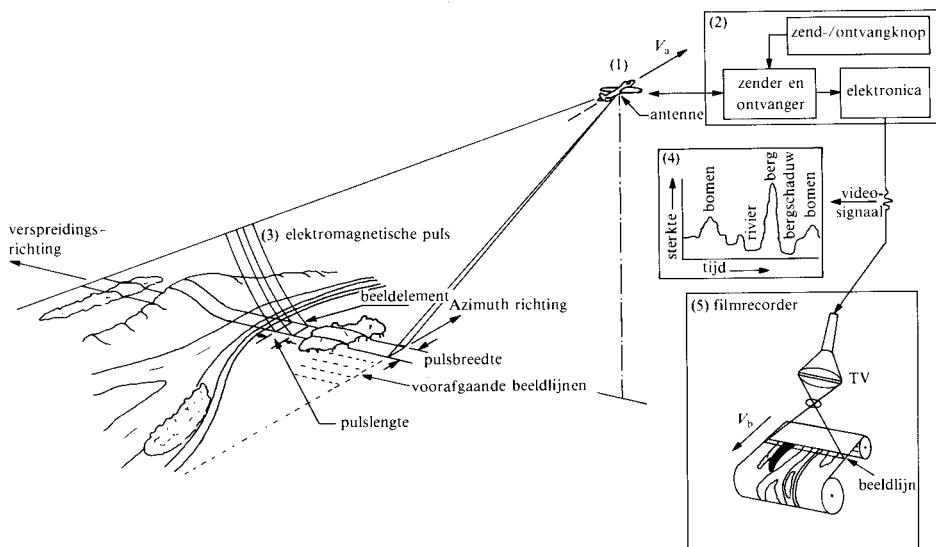
Band typering	Golflengte (λ) mm	Frequentie (f) = $c \cdot \lambda^{-1}$ Megahertz (10^6 cycles $\cdot$ s $^{-1}$)
K _a (Q)	7,5 - 11	40.000 - 26.500
K	11 - 16,7	26.500 - 18.000
K _u	16,7 - 24	18.000 - 12.500
X	24 - 37,5	12.500 - 8.000
C	37,5 - 75	8.000 - 4.000
S	75 - 150	4.000 - 2.000
L	150 - 300	2.000 - 1.000
P	300 - 1.000	1.000 - 300

Onderscheiden worden:

SLAR = Side Looking Airborne Radar;

SAR = Synthetic Aperture Radar.

De werking van de SLAR is schematisch weergegeven in figuur 5.4.3. Vanuit een vliegtuig of satelliet wordt een EM-puls uitgezonden in een bepaalde golflengteband (bijvoorbeeld X- of L-band) en met een bepaalde regelmaat. De uitgezonden radarpuls wordt door objecten op het aardoppervlak gereflecteerd en door de antenne van het vliegtuig of de satelliet weer opgevangen. Het is ook mogelijk tegelijkertijd aan beide zijden van het vliegtuig een strook af te tasten. Bij SAR wordt de antennelengte kunstmatig vergroot door gebruik te maken van de voortbewegingssnelheid van het vliegtuig of de satelliet.



Figuur 5.4.3. Principe van de Side Looking Airborne Radar. (Naar Lillesand and Kiefer, 1979.)

5.4.3. Verschillen tussen fotografische en elektronische opnamen

Tabel 5.4.2. Verschillen tussen fotografische en elektronische RS-opnamen.

	FOTO		ELEKTRONISCHE OPNAMEN		
	normale foto	false colour foto	MSS	IRLS	RADAR
Registratie van	gereflecteerd zonlicht	gereflecteerd zonlicht	gereflecteerd zonlicht	door object uitgezonden warmtestraling	door object teruggekaatste microgolven
Spectraal bereik (μm)	0,4-0,7	0,5-0,9	0,3-2,5	3-5 en 8-14	10^3 - 10^6
Spectrale resolutie	matig	matig	goed	n.v.t.	n.v.t.
Radiometrische resolutie	matig	matig	zeer goed	goed	goed
Geometrische resolutie	zeer goed	zeer goed	matig	matig	matig
Perspectief	centraal	centraal	lijn	lijn	lijn
Opname tijd (belichtingstijd)	1/250-1/500 sec.		varieert van 12-100 lijnen per sec. (afh. van vlieg-hoogte en vliegsnelheid)		
Evt. geometrische beeldfouten	over de gehele foto constant		kan per lijn optreden		
Informatie opslag	analoog (in densiteiten op fotografische emulsie)		digitaal (in numerieke waarden op magneetband)		
Presentatie	oorspronkelijke opname		beeldscherm opname waarop meestal beeldverbetering en/of andere beeldbewerkingen/combinaties zijn uitgevoerd		
Kostprijs	relatief goedkoop		relatief duur		

5.5. Interpretatie van RS-opnamen

5.5.1. Algemeen

Het interpreteren van RS-opnamen is het signaleren van verschillen in reflectie en/of emissie en het herleiden van deze verschillen tot een "oorzaak". Vaak is de "oorzaak" in feite een symptoom waarin meer oorzaken al dan niet gelijktijdig een aandeel kunnen hebben. Voor een nadere precisering van de "oorzaak" is extra informatie nodig om door eliminatie uiteindelijk één oorzaak over te houden. Deze extra informatie moet meestal van andere bronnen dan de RS-opname komen. Bovenstaande kan het beste verduidelijkt worden aan de hand van een voorbeeld.

Uit warmtebeelden kan in combinatie met een gewassenkaart en gegevens over de bedekingsgraad de actuele verdamping van het gewas, c.q. de mate van verdroging worden bepaald.

Vaak zal men ook de reden van het optreden van vochttekorten en verschillen in vochtvoorziening op bepaalde plaatsen willen weten. Deze zou onder andere kunnen zijn: aanwezigheid storende lagen, verschillen in capillaire eigenschappen ondergrond, bewortelingsdiepte, diepte grondwaterstand, wateraanvoer via sloten, kunstmatige beregening, lokale neerslagverdeling etc. Elk van deze factoren kan weer nader worden onderverdeeld (bijvoorbeeld verschil in bewortelingsdiepte als gevolg van verschil in voedingstoestand, dichtheid van de bodem, rasverschillen etc.).

Op proefveldniveau waar onder goed bekende en geconditioneerde omstandigheden onderzoek wordt verricht, kan de interpretatie, omdat men over meer gegevens beschikt, meer gedifferentieerd geschieden.

In de praktijk zal de interpretatie vaak minder verfijnd zijn omdat het aantal bekende parameters meestal geringer is.

5.5.2. Technische hulpmiddelen bij de interpretatie

Indien men in staat is de afzonderlijke stappen en de te hanteren criteria bij de determinatie exact te definiëren kan de interpretatie door een computer worden uitgevoerd. In de meeste gevallen is dit niet mogelijk en gebeurt de interpretatie voor een belangrijk deel visueel, in geval van digitale opnamen eventueel ondersteund door statistische bewerkingen.

Om een voor de visuele interpretatie optimaal beeld te produceren, waarin het verschijnsel dat wordt bestudeerd zo goed mogelijk zichtbaar is, bestaat een aantal technieken. Enkele veel toegepaste technieken zijn:

- uitvergroten;
- contrast verbetering;
- omzetten van densiteiten in kleuren;
- kleuromzettingen;
- samenvoegen van afzonderlijke opnamen in één beeld (composieten). De opnamen kunnen zowel betrekking hebben op verschillende tijdstippen (multitemporeel) als op verschillende golflengtebanden (multispectraal).

In principe zijn dit soort technieken zowel voor analoge (fotografisch) als voor digitale opnamen beschikbaar. Voor analoge opnamen dient een en ander langs fotografische weg te gebeuren wat enerzijds omslachtig is en anderzijds nogal wat vakkennis vereist. Digitale opnamen worden verwerkt via een kleurengrafisch computersysteem, hetgeen veel sneller en eenvoudiger gaat. Digitale opnamen hebben bovendien als voordeel dat de interpretatie ondersteund kan worden door statistische bewerkingen.

Vanwege de vele voordelen van digitale beeldbewerking komt het steeds vaker voor dat men ook luchtfoto's digitaliseert om deze dan langs deze weg te bewerken.

Voor een uitgebreidere bespreking van de diverse technische hulpmiddelen ten behoeve van de interpretatie wordt verwezen naar onder andere *Nieuwenhuis en Bouwmans* (1984).

5.6. Toepasbaarheid van RS

5.6.1. Algemeen

Met RS wordt van een object informatie verkregen over:

- geometrie: vorm, textuur, ruimtelijke kenmerken;
- spectrale eigenschappen: kleur, temperatuur, radarreflectie.

Aan de hand van multitemporele opnamen kunnen bovendien veranderingen in de tijd worden gevolgd.

In het algemeen kan worden gesteld, dat indien het verschijnsel dat men wil onderzoeken gekarakteriseerd wordt door een of meer van deze parameters, RS-technieken in principe bruikbaar zijn.

Voor grootschalige studies, bijvoorbeeld het schatten van het areaal landbouwgrond, en voor het afleiden van globale regionale informatie kan satelliet-RS met succes worden toegepast. Met name in gebieden waarvan geen of slechts zeer gebrekkige informatie beschikbaar is, biedt deze techniek vele toepassingsmogelijkheden, zoals bijvoorbeeld het samenstellen of actualiseren van bodemgebruikskaarten, het volgen van processen (monitoring) aan het aardoppervlak (onder andere de uitbreidingen van woestijnen en ontbossing en daarmee gepaard gaande erosie).

In Nederland beschikt men vaak al over veel en gedetailleerde informatie. Middels RS kan aanvullende informatie worden verkregen.

Zowel vanwege het gewenste detail als vanwege het klimaat (frequentie bewolking) is men in Nederland hiervoor meestal aangewezen op vliegtuig-RS. De kans dat op het juiste moment bruikbare satellietbeelden worden verkregen is te gering.

Het belang van RS is, dat de situatie op een bepaald moment wordt vastgelegd met een onafhankelijke meettechniek. Bepaalde verschijnselen en/of processen kunnen door middel van RS-technieken worden gelokaliseerd en geïnventariseerd. Als zodanig kunnen RS-technieken gebruikt worden als aanvulling en in sommige gevallen als vervanging van relatief dure en tijdrovende conventionele karterings- en inventarisatiemethoden.

Over de oorzaken van de waargenomen verschijnselen of processen geven RS-beelden echter geen uitsluitel. Hiervoor, alsook voor de ijking van de beelden, dient veelal aanvullende veldinformatie verzameld te worden.

Het succes waarmee een RS-techniek kan worden gebruikt wordt in belangrijke mate bepaald door het aantal parameters dat op het te bestuderen verschijnsel van invloed is en de mogelijkheden die er zijn om de invloed van die parameters afzonderlijk te kunnen bepalen. Een van de resultaten van het toepassen van RS-technieken kan ook zijn het uitvoeren van gericht veldonderzoek om gesignaleerde verschillen te verklaren.

Daarnaast dient bedacht te worden dat RS-beelden momentopnamen te zien geven. Voor het volgen van processen zijn vaak opnamen op meer tijdstippen gewenst. Een complicerende factor hierbij kan zijn dat op de gewenste opname-tijdstippen de condities voor succesvolle opnamen (weersgesteldheid) niet altijd aanwezig zijn.

5.6.2. Toepassingsgebieden van de verschillende RS-technieken

Iedere RS-techniek heeft zijn sterke en minder sterke punten ten aanzien van de geometrische, radiometrische en spectrale resolutie, het spectrale bereik en de weersafhankelijkheid (zie ook tabel 5.4.2).

Afhankelijk van de informatie die noodzakelijk is voor de oplossing van het probleem, wordt de keuze van de toe te passen RS-techniek bepaald. Dit kan ook het gecombineerd toepassen van meer technieken zijn. Tabel 5.6.1 geeft een overzicht van toepassingsmogelijkheden van de verschillende RS-technieken, gebaseerd op het werk van de NIWARS (Nederlandse Interdepartementale Werkgemeenschap voor het Applicatieonderzoek van Remote Sensing-technieken).

Tabel 5.6.1. Overzicht toepassingsmogelijkheden RS-technieken in Nederland gebaseerd op NIWARS-activiteiten.

Nr. Vakgebied	IRLS	SLAR	MSS	MSP False colour Full colour
<i>Vegetatie</i>				
1. Gewasclassificatie		+	+	*
2. Bepaling hoeveelheid biomassa			+	*
3. Oogstverwachting			*	
4. Ziekteverschijnselen	*		*	*
5. Stress (door vochtgebrek)	+		*	
<i>Bodemkunde</i>				
6. Vochthuishouding	+			*
7. Droogteschade	+			*
8. Nachtvorstgevoeligheid	+			
<i>Geologie</i>				
9. Holoceen kartering	+		+	+
10. Pleistoceen kartering	+		+	+
<i>Waterbeheer</i>				
11. Golven en deining		*		
12. Circulatie kustwater; stromingen	+			
13. Menging en verspreiding koel- en afvalwater	+			
14. Kwel onder en door dijken	*			
15. Olie op water	*	*		*
16. Verkeer te water	*	*		
17. Waterkwaliteit			*	
18. IJsdetectie		*		
<i>Diversen</i>				
19. Opsporing lekkage leidingen	+			
20. Gladheid op wegen	+			
21. Karteren lokaal klimaat	*			

Legenda:

+ Applicatiemogelijkheid aangetoond.

* Applicatiemogelijkheid zeer waarschijnlijk of met zekerheid volgens onderzoeken elders.

Fotografische RS-technieken

De luchtfotografie is de oudste en nog steeds de meest toegepaste RS-techniek. De belangrijkste toepassing ligt vanwege het hoge geometrisch scheidend vermogen op het terrein van de kartografie en inventarisaties.

De kleur infrarood (false colour) luchtfotografie wordt vooral gebruikt voor vegetatiestudies. Uit de mate van reflectie van nabij infrarode straling, die vooral optreedt aan de groene delen van de plant, kan informatie worden afgeleid over onder andere de bedekkingsgraad en de gewassoort.

Vaak wordt luchtfotografie ook toegepast als ondersteuning van opnamen met elektronische RS-technieken.

Multi spectrale scanning (MSS)

Toepassing van MSS verdient de voorkeur boven luchtfotografie indien de geometrische informatie van minder belang is en een hoge spectrale en radiometrische resolutie is vereist.

Dit betekent dat MSS vooral geschikt is als vlakken met min of meer uniforme begroeiing (monocultures) in een voldoende groot aantal pixels wordt afgebeeld.

Vanuit satellieten wordt in het zichtbaar en nabij infrarode golflengtegebied standaard met MSS geregistreerd.

Naar de relatie tussen veranderingen in spectrale reflectie en de fysische oorzaken die daaraan ten grondslag liggen wordt momenteel veel onderzoek gedaan.

Het direct vertalen van reflectieveranderingen naar de oorzaak is op dit moment nog maar in enkele gevallen mogelijk.

Thermografie (IRLS)

Met thermografie worden temperatuurverschillen aan het aardoppervlak in beeld gebracht en gekwantificeerd. Thermografie is daarom bij uitstek geschikt voor toepassing bij onderzoek en inventarisaties waarbij uit de temperatuur van het object de gewenste informatie kan worden afgeleid. Thermografie wordt onder andere toegepast voor het opsporen en het bestuderen van effecten van koelwaterlozingen en bij onderzoek naar het functioneren van de isolatie van gebouwen. In het landbouwkundig onderzoek wordt thermografie toegepast voor het vaststellen en in kaart brengen van plaatsen waar verdroging van gewassen optreedt. Via bekende relaties tussen gewastemperatuur en gewasverdamming kan uit het warmtebeeld een verdampingskaart worden afgeleid. Uit deze informatie over de vochtvoorziening van het gewas, kan bijvoorbeeld het effect van cultuurtechnische maatregelen worden bestudeerd.

Radar

Voor RADAR zijn er veel potentiële toepassingsmogelijkheden. Door de geringe interacties van microgolven met de atmosfeer is RADAR met succes toegepast voor het karteren van grote gebieden die meestal bewolkt zijn (Zuid-Amerika). Ook het classificeren van landbouwgewassen is met RADAR-beelden mogelijk.

De fysische relatie tussen RADAR-reflectie en het object is nog onvoldoende bekend. Wel is duidelijk dat het vochtgehalte, de ruwheid en de di-elektrische eigenschappen van het object een belangrijke rol spelen. De eerste resultaten op het gebied van oogst-voorspelling/opbrengstbepaling en verdampingsonderzoek zijn hoopgevend.

5.7. Algemene informatie en literatuur

5.7.1. Verklaring van veel gebruikte termen en afkortingen in de RS

Actieve RS-technieken	RS-technieken waarbij door het opname-instrument uitgezonden straling na reflectie door het object wordt geregistreerd (RADAR).
Backscatter	In de richting van de RADAR zelf, gereflecteerde microgolven.
Calibratie	IJking van het ontvangen signaal om daaruit de objecteigenschappen af te kunnen leiden. Hiervoor moeten zowel op de grond als in het vliegtuig maatregelen worden genomen.
CCD	Charge Coupled Device (lineaire reeks detectoren).
CCT	Computer Compatible Tape (magneetband voor het vastleggen van digitale RS-beelden).
Cluster analyse	Meer dimensionale correlatie van de densiteitswaarden in verschillende golflengte of van verschillende tijdstippen ten behoeve van het classificeren.
Composiet	Afbeelding waarin meer opnamen van het object (multispectraal of multitemporeel) in één beeld zijn samengevoegd.
Density slicing	Toekennen van een kleur aan pixels in een opgegeven densiteitswaarde-interval.
Detector	Zie sensor.
Densiteit	1. Fotografische registratie: mate van zwarting of kleurdichtheid op een fotografische emulsie. 2. Elektronische registratie: sterkte van het geregistreerde signaal; bij de beeldverwerking wordt dit vertaald in een densiteitswaarde.
EM-straling	Elektromagnetische straling.
Emissie-coëfficiënt	De verhouding tussen de EM-straling uitgezonden door een object met een bepaalde temperatuur en de EM-straling door een ideale zwartstraler met dezelfde temperatuur.

False colour	Fotografische techniek waarbij de kleurweergave is verschoven in de richting van het golflengte gebied van het nabij infrarood.
FC	False Colour.
FCC	False Colour Composiet.
Feature space	Kenmerk ruimte.
Groundtruth	Informatie uit veldwaarnemingen die nodig is voor de calibratie van het signaal.
Image enhancement	Het wijzigen van de contrastfactor en de kleurweergave van een RS-beeld met het doel geringe dichtheitsverschillen voor het oog beter waarneembaar te maken.
Image handling	Alle handelingen die de gebruiker helpen bij de interpretatie van RS-beelden.
Image processing	Geautomatiseerde beeldverwerking.
Infrarood	EM-straling uit het golflengte gebied van 0,7-14 μm . (Zie ook Nabij en Thermisch infrarood.)
Intensiteit	Sterkte van het signaal dat van het object afkomstig is (reflectie, emissie).
Interactie	Beïnvloeding van de EM-straling door atmosfeer en object (absorptie, reflectie, transmissie e.d.).
IR	Infrarood.
IRLS	Infrarood Line Scanning.
LIDAR	Light Detecting And Ranging. Actieve RS-techniek waarbij een laser als stralingsbron wordt gebruikt.
Microgolven	EM-straling uit de golflengtegebied van 1 mm-1 m.
MSP	Multi Spectrale Fotografie of Multiband Fotografie.
MSS	Multi Spectrale Scanning.
Nabij infrarood	EM-straling uit het golflengtegebied van 0,7-1,1 μm .
Oblique opname	Opname waarbij de hoofdas van de camera een bepaalde hoek maakt met het aardoppervlak.
Passieve RS technieken	RS-technieken waarmee gereflecteerde zonnestraling of door het object zelf uitgezonden straling wordt geregistreerd.
Pixel	Afgeleid van Picture Element. Beeldelement waarin het gemiddeld signaal afkomstig van een bepaald grondoppervlak is vastgelegd.

Platform	Drager van de sensor (vliegtuig, satelliet, UVL).
Preprocessing	Voorbewerking van de ruwe data, onder andere calibratie en beeldcorrectie.
Quick look	Scanner- of Radaropname afgebeeld op fotografisch materiaal.
RADAR	RADio Detecting And Ranging. Actieve RS-techniek in het microgolflengte traject.
Reflectiespectrum	De reflectie van een object in een zeker golflengtetraject.
Resolutie	Zie scheidend vermogen.
RS	Remote Sensing.
SAR	Synthetic Aperture Radar. Radartechniek waarbij de antennenlengte kunstmatig wordt vergroot door gebruik te maken van de voortgaande beweging van het platform.
Scannen	Aftasten; met een scanner wordt door middel van een roterende spiegel het aardoppervlak punt voor punt en lijn voor lijn afgetast.
Scatter	Diffuse verstrooiing van EM-straling aan objecten van dezelfde grootte-orde als de golflengte van de opvallende EM-straling.
Scheidend vermogen	<i>Geometrisch</i>: het kleinste detail dat in de opname nog juist kan worden gedetecteerd. <i>Radiometrisch</i>: het kleinste intensiteitsverschil dat in de opname nog met zekerheid kan worden gedetecteerd. <i>Spectraal</i>: het kleinste golflengtegebied waarin nog afzonderlijk kan worden waargenomen. <i>Temporeel</i>: de kortst mogelijke tijdsduur tussen twee opeenvolgende opnamen van hetzelfde gebied.
Sensor	Medium dat de EM-straling ontvangt en omzet in een signaal. De sensor kan zijn: - Fotografische emulsie: EM-straling wordt omgezet in een densiteit; - Foto-elektrische cel: EM-straling wordt omgezet in een elektrisch signaal. - radarantenne: EM-straling wordt omgezet in een elektrisch signaal.
SLAR	Side Looking Airborne Radar.
Spectraal bereik	Het golflengtegebied waarin de sensor of combinatie van sensoren (MSP, MSS) EM-straling kan registreren.
Spectrale signatuur	De wijze waarop het object EM-straling reflecteert of uitzendt en welke karakteristiek is voor de aard en toestand van het object.

Stretching	Contrastverhoging van digitale opnamen.
Structuur	De ruimtelijke ligging van vlakken ten opzichte van elkaar in een zeker patroon (bv. stippel- of streepstructuur).
Textuur	De grootteverdeling van de verschillende structuurelementen (bv. fijn- of grof korrelig).
Thermisch infrarood	EM-straling uit het golflengtegebied van 3-14 μm .
TIR	Thermisch Infrarood.
ULV	Ultra Lichte Vliegtuigen.
Venster	Golflengtegebied in het EM-spectrum waarin de atmosferische absorptie is te verwaarlozen, bv. het microgolfvenster.
Verticaal opname	Opname waarbij de hoofdas van de camera loodrecht op het aardoppervlak staat.
Warmtebeeld	Opname, gemaakt met een Infrarood Line Scanner en waarin de densiteitsniveaus overeenkomen met een bepaalde temperatuur.

5.7.2. Literatuur

Een bijzonder geschikt leerboek op het gebied van de RS is geschreven door *Lillesand and Kiefer* (1979). Het eerste deel van dit boek betreft de luchtfotografie, terwijl in het tweede deel de elektronische opnametechnieken MSS, IRLS en RADAR worden behandeld. Er wordt zowel ingegaan op de technische achtergronden als op de interpretatie van RS-opnamen.

De fotogrammetrie en het gebruik van luchtfoto's voor inventarisatiestudies wordt uitgebreid behandeld door *Paine* (1981).

Het Manual of Remote Sensing uitgegeven door de *American Society of Photogrammetry* (1975) is een uitgebreid naslagwerk voor mensen met ervaring op het gebied van RS.

Een ook voor minder ingewijden lezenswaardig boek over de achtergronden en de toepassing van RS technieken is "Met het oog op de aarde" van *Janse en De Boer* (1987).

Een algemeen overzicht op het gebied van RS en van RADAR toegespitst op de cultuurtechniek in brede zin wordt gegeven in een tweetal themanummers van het *Cultuurtechnisch Tijdschrift* (1980, 1983).

Een uitgebreide versie van dit hoofdstuk is verschenen als ICW-nota 1535 (*Nieuwenhuis en Bouwmans*, 1984).

American Society of Photogrammetry, 1975.

Manual of Remote Sensing. Volume I - theory, instruments and techniques.

Volume II - interpretation and applications. Keuffel & Esser Company.

Bouwmans, J.J.M., 1982.

Remote sensing: wat is het en wat heeft de h.b.c.s.-er eraan? Nota 1346, Instit. voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Wageningen.

Cultuurtechnisch Tijdschrift, 1980.

Themanummer: Remote Sensing. Cultuurtechn. Tijdschr. 19(5): p.219-278.

Cultuurtechnisch Tijdschrift, 1983.

Themanummer: RADAR. Cultuurtechn. Tijdschr. 22(5): p.285-328.

Janse, A.R.P. en Th.A. de Boer, 1987

Met het oog op de aarde. Uitgeverij "Het Spectrum"

Lillesand T.M. and R.W. Kiefer, 1979.

Remote Sensing and image interpretation. John Wiley & Sons, Inc.

Nieuwenhuis, G.J.A. en J.J.M. Bouwmans, 1984.

Remote sensing. Nota 1535, Instit. voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Wageningen.

Paine, D.P., 1981.

Aerial Photography and Image Interpretation for Resource Management.

John Wiley & Sons, Inc.

5.7.3. Adressen

Coördinatie RS-activiteiten in Nederland:

Begeleidingscommissie Remote Sensing (BCRS)

Secretariaat:

Meetkundige Dienst van de Rijkswaterstaat

Postbus 5023, 2600 GA Delft

Datadistributie satellietbeelden (o.a. Landsat)

als National Point of Contact (NPOC) in ESA-verband treedt op:

Nationaal Lucht- en Ruimtevaartlaboratorium (NLR)

Anthony Fokkerweg 2, 1059 CM Amsterdam

Verwerkingssystemen:

- RESEDA operationeel bij het NLR; adres: zie boven

- Kleurengrafisch systeem van het Rekencentrum van de Landbouwuniversiteit
Hollandseweg 1, 6707 KN Wageningen

Archief Luchtfoto's Nederland:

Fototheek van de Topografische Dienst

Postbus 115, 7800 AC Emmen

Deel II

BODEM

	Blz.
1. Algemeen	155
2. Bodemkundige indelingen	160
3. Bodemgeschiktheid	209
4. Bodemtechniek	231
5. Bemestingsaspecten	294

1. Algemeen

1.1. Basisbegrippen

BODEM

Onder bodem wordt verstaan: de aan de atmosfeer grenzende bovenste laag van de aardkorst. In de bodemkunde wordt het begrip meestal in een meer beperkte betekenis gebruikt voor dat deel van de aardkorst dat beworteld of bewortelbaar is en/of door fysische, chemische of biologische processen is veranderd.

De bodem is een systeem waarin meestal drie fasen kunnen worden onderscheiden, nl.:

- een *vaste* fase bestaande uit de vaste delen;
- een *vloeibare* fase bestaande uit de met water gevulde poriën en
- een *gasvormige* fase bestaande uit de met lucht gevulde poriën.

Het bodemsysteem is gevormd uit het uitgangs- of moedermateriaal (gesteente en organische resten) onder invloed van klimaat, vegetatie, reliëf, bodemflora en -fauna en de mens. De bodem bevindt zich als geheel in een voortdurende ontwikkeling naar een labiel, zich aan inwendige en uitwendige omstandigheden aanpassend, dynamisch evenwicht.

GROND

Deze term is ten dele synoniem met het begrip bodem. In de bodemkunde is grond het niet-geconsolideerde materiaal, opgebouwd uit minerale bestanddelen, al of niet vermengd met organische stof, dat zich op het onmiddellijke oppervlak van de aarde bevindt en dient als groeiplaats voor landplanten.

De minerale bestanddelen van een grond ontstaan door verwerking van aan het aardoppervlak gelegen gesteenten. Naar de aard van de processen die hierbij een rol spelen, kan onderscheid worden gemaakt in fysische en chemische verwerking. Blijft het door verwerking ontstane losse materiaal ter plaatse liggen, dan spreekt men van *autochtone* gronden, als het naar elders verplaatst wordt van *allochtone* gronden.

De minerale gronden in Nederland bestaan vrijwel geheel uit allochtoon verweringsmateriaal. Alleen in Zuid-Limburg komen circa 3.000 ha autochtone krijt(verwerings)gronden voor.

Transport van verweringsmateriaal kan plaatsvinden door de wind, de zee, de rivieren en door het landijs. De op deze wijze ontstane afzettingen worden aangeduid als respectievelijk *aeolische*, *mariene*, *fluviatiele* en *glaciale* afzettingen.

BODEMPROFIEL

Het samenstel van in verticale richting opeenvolgende bodemlagen en bodemhorizonten wordt aangeduid als het bodemprofiel.

De gelaagdheid, die men in elk bodemprofiel aantreft, kan zowel een gevolg zijn van de manier van afzetting (*geogenese*) als van veranderingen die na de afzetting door bodemvorming (*pedogenese*) zijn ontstaan.

De manier waarop het moedermateriaal getransporteerd werd, is bepalend voor het patroon van de afzetting en tevens voor de opeenvolging en de samenstelling van de lagen in het bodemprofiel. Ook bij de vorming van veen, dat ontstaan is door ophoping van organisch materiaal, zijn er duidelijke wetmatigheden.

Het bovenste deel van het bodemprofiel, de door de mens bewerkte horizont, wordt *bouwvoor* genoemd. Afhankelijk van de bewerkingsdiepten ontstaan diepe of ondiepe bouwvoren.

BODEMKUNDE

Hieronder verstaat men de wetenschap die de studie van de bodem tot onderwerp heeft. Binnen de bodemkunde kunnen vele vakgebieden worden onderscheiden. Een aantal voor dit Vademecum relevante vakgebieden of onderdelen daarvan worden in de volgende hoofdstukken beschreven. Het betreft met name de vakgebieden

- Bodemclassificatie (Hfdst. II. 2. Bodemkundige indelingen)
- Bodemfysica/grondmechanica (Hfdst. II. 3. Bodemgeschiktheid)
- Bodemchemie/bodemvruchtbaarheid (Hfdst. II. 4. Bodemtechniek)
- (Hfdst. II. 5. Bemestingsaspecten)

De fysische eigenschappen van de bodem in relatie tot de vloeibare fase van het bodemsysteem worden beschreven in deel III van dit Vademecum in de hoofdstukken III.3.1. Strooming van water in de verzadigde zone en in III.3.2. Strooming van water in de onverzadigde zone.

1.2. Bodemgebruik

Het bodemgebruik per provincie naar de toestand op 1 januari 1983 is weergegeven in tabel 1.2.1. In tabel 1.2.2 is de ontwikkeling van het bodemgebruik vanaf 1950 weergegeven.

In tegenstelling tot het begrip "cultuurgrond" uit de landbouwtellingen, omvat het begrip "agrarisch gebruik" in tabel 1.2.1 en 1.2.2 eveneens tuinen voor eigen gebruik, cultuurgrond van niet-telplichtigen, verspreide bebouwing, water smaller dan 6 meter, enz. De term "overige gronden" omvat met name bouwterreinen, recreatieterreinen en verkeersterreinen. Landelijk komt, gerekend naar de situatie per 1 januari 1983, circa 50% hiervan voor rekening van laatstgenoemde gebruiksvorm.

De bodemoppervlakte "agrarisch gebruik" is over de periode 1950-1975 met netto 80.000 ha verminderd. Wordt geen rekening gehouden met de uitbreiding van de oppervlakte agrarisch gebruik door de inpoldering van de Zuidelijke IJsselmeerpolders, dan bedraagt de bruto vermindering over deze periode 136.000 ha ofwel gemiddeld 5.500 ha per jaar. Gerekend over de periode 1977-1983 bedraagt de afname ruim 30.000 ha ofwel gemiddeld 5.000 ha per jaar. De afname van de oppervlakte agrarisch gebruik wordt nagenoeg volledig veroorzaakt door de uitbreiding in de categoriën bebouwde terreinen en overige gronden (met name verkeersterrein en recreatieterreinen).

Tabel 1.2.1. Oppervlakte en bodemgebruik per provincie naar de toestand per 1-1-1983. (Gebaseerd op gegevens CBS: Bodemstatistiek).

	Oppervlakte × 1.000 ha	Bodemgebruik (%)					
		agrarisch gebruik	bos	natuurlijk terrein	bebouwde terreinen	overige gronden	water
Groningen	261	76,3	1,0	1,8	5,6	4,8	10,4
Friesland	379	71,7	2,3	6,8	3,5	4,1	11,5
Drenthe	268	74,3	9,5	4,7	4,6	5,9	1,0
Overijssel	393	74,3	8,8	3,3	5,2	5,5	2,9
Gelderland	513	62,2	16,8	4,8	7,3	6,5	2,4
Utrecht	140	60,4	12,8	2,1	12,1	8,0	4,7
Noord-Holland	293	58,4	3,3	6,7	12,3	10,2	9,2
Zuid-Holland	336	56,9	1,2	5,0	13,3	10,0	13,6
Zeeland	302	47,9	0,8	2,9	3,1	4,5	40,8
Noord-Brabant	511	64,6	12,9	2,7	9,7	7,1	2,9
Limburg	221	62,7	12,9	2,2	11,7	8,7	1,8
Z.IJsselmeerpolders	114	56,3	9,8	7,1	2,3	8,0	16,5
Nederland	3.729	64,5	8,0	4,2	7,6	6,8	9,0

Tabel 1.2.2. Ontwikkeling van het bodemgebruik in Nederland vanaf 1950. (Gebaseerd op gegevens CBS: Bodemstatistiek).

	Bodemgebruik (%) in							
	1950	1960	1970	1975	1977	1979	1981	1983
agrarisch gebruik	73,1	71,8	69,7	68,1	65,5	65,0	64,7	64,5
bos	8,3	8,1	8,1	8,3	7,8	7,9	7,9	8,0
natuurlijk terrein	5,4	5,5	5,1	4,6	4,4	4,3	4,2	4,2
bebouwde terreinen	}	5,7	6,0	6,7	7,0	7,2	7,4	7,6
overige gronden			3,3	3,8	6,6	6,6	6,7	6,8
water	7,5	7,7	7,8	8,5	8,7	9,0	9,1	9,0
totaal gemeentelijk ingedeeld (incl. Z. IJsselmeerpolders)	100	100	100	100	100	100	100	100
Oppervlakte (× 1.000 ha)								
gemeentelijk ingedeeld (incl. Z. IJsselmeerp.)	3.550	3.616	3.662	3.695	3.719	3.729	3.731	3.729
niet gemeentelijk ingedeeld	532	466	446	421	397	387	424	418
Nederland totaal	4.082	4.082	4.108	4.116	4.116	4.116	4.155	4.147

N.B. Vanaf 1976 is de Bodemstatistiek geleidelijk herzien (nieuwe werkmethode en gewijzigde definities). De gegevens van de jaren vóór 1976 zijn daarom niet geheel vergelijkbaar met de gegevens van de jaren daarna.

In tabel 1.2.3 is de totale oppervlakte cultuurgrond en het grondgebruik per provincie naar de toestand in 1985 weergegeven.

Tabel 1.2.4 laat de ontwikkeling zien van de oppervlakte geregistreerde cultuurgrond in Nederland en het gebruik ervan sinds 1950.

De totale oppervlakte geregistreerde cultuurgrond is over de periode 1950-1975 met netto 255.000 ha ofwel gemiddeld ruim 10.000 ha per jaar verminderd. Over de periode 1975-1985 bedraagt de afname gemiddeld 6.300 ha per jaar. Hierbij is rekening gehouden met de uitbreiding van de oppervlakte cultuurgrond in de IJsselmeerpolders; de bruto afname is aanzienlijk groter.

Tabel 1.2.3. Oppervlakte geregistreeerde cultuurgrond en grondgebruik per provincie naar de toestand in 1985. (Gebaseerd op gegevens CBS: Landbouw telling mei).

	Oppervlakte cultuur- grond (× 1.000ha)	Grondgebruik (%)				braakland
		bouwland	grasland	tuinbouwgewassen open grond	onder glas	
Groningen	174	62,7	35,9	1,1	0,0	0,3
Friesland	230	10,8	88,3	0,6	0,0	0,3
Drenthe	169	49,8	49,3	0,9	0,1	0,0
Overijssel	207	20,8	78,7	0,4	0,0	0,1
Gelderland	256	20,1	75,8	3,7	0,2	0,2
Utrecht	69	5,0	90,8	3,7	0,3	0,2
Noord-Holland	142	28,4	56,7	13,7	0,7	0,5
Zuid-Holland	159	28,1	56,7	11,2	3,5	0,4
Zeeland	126	77,0	11,7	11,1	0,1	0,2
Noord-Brabant	276	38,1	54,3	7,1	0,2	0,2
Limburg	112	46,0	42,0	11,0	0,6	0,3
Noordoostpolder	39	64,5	14,2	21,1	0,1	0,1
Z. IJsselmeerpolders	60	76,2	13,2	9,8	0,0	0,7
Nederland	2.019	36,0	57,7	5,7	0,4	0,2

Tabel 1.2.4. Ontwikkeling van de oppervlakte geregistreeerde cultuurgrond en het grondgebruik in Nederland vanaf 1950. (Gebaseerd op gegevens CBS: Landbouw tellingen mei).

	Oppervlakte cultuur- grond (× 1.000ha)	Grondgebruik (%)				braakland
		bouwland	grasland	tuinbouwgewassen open grond	onder glas	
1950	2.337	39,8	56,4	3,7	0,1	1)
1955	2.308	40,0	56,2	3,6	0,2	1)
1960	2.317	38,5	57,3	4,0	0,2	1)
1965	2.256	35,9	59,3	4,6	0,3	1)
1970	2.143	32,0	62,1	5,2	0,3	0,4
1975	2.082	32,4	61,8	5,1	0,4	0,3
1980	2.020	34,9	59,3	5,2	0,4	0,3
1985	2.019	36,0	57,7	5,7	0,4	0,2

1) inbegrepen in bouwland en tuinbouw open grond.

2. Bodemkundige indeling

2.1. Inleiding

Veel uit dit hoofdstuk is ontleend aan *W. Locher en H. de Bakker* (1985): Bodemnatuurkunde (voorpublicatie uit: Bodemkunde van Nederland, deel 1, Algemene bodemkunde). Het hoofdstuk heeft voornamelijk betrekking op indelingen, classificatie en legenda die gebruikt worden bij de bodemkaarten van de Stichting voor Bodemkartering (*StiBoka*). Naast de opname van de bodemkaart (bodemkundige en hydrologische inventarisaties) verricht de *StiBoka* nog meer inventarisaties, waarbij de cultuurhistorische, geomorfologische, ecologische en andere elementen van de Nederlandse landschappen worden gekarteerd. (*Stichting voor Bodemkartering*, 1982; 1985).

2.2. Korrelgrootteklassen

2.2.1. Algemeen

In onderstaand schema zijn namen en symbolen voor bestanddelen van grond vermeld, uitgewerkt voor beschouwingen over korrelgrootte. De symbolen worden als indexen bij grootheden gebruikt. De horizontaal gezette bestanddelen bevatten telkens wat er onder staat.

t veldvochtige grond							w water
d stoofdroge grond						G grinddeel	
d stoofdroge grond < 2 mm					h organische stof		
m minerale delen			c carbonaten				
L lutumdeel	S siltdeel	Z zanddeel					

Het bovenstaande schema bevat enige terminologische moeilijkheden, doordat er zowel naar grootte als naar samenstelling onderscheid wordt gemaakt. Zo kan het grinndeel enige organische stof en/of kalk bevatten. Bij een term als minerale delen zou te verwach-

ten zijn dat het grinddeel en de kalk daarbij horen, maar dat is in dit schema niet zo. Omdat het grindgehalte van verreweg de meeste Nederlandse gronden zeer laag is, is het niet nodig ter wille van de fysische zuiverheid, de namen van de bestanddelen en de indexen ingewikkeld te maken.

De in het Vademecum gebruikte namen voor korrelgroottedelen zijn in onderstaand schema vermeld. In plaats van "deel" mag ook "fractie" gelezen worden.

leemdeel				zanddeel	grind- deel	stenen- deel
slibdeel						
lutum- deel	siltdeel					
	sloef- deel	löss- deel				
0	2	16	50	2.000	63.000	µm
korrelgrootteklassen						

2.2.2. Indeling volgens de Stichting voor Bodemkartering

Korrelgrootteklassen en fractienamen van StiBoka (*De Bakker en Schelling, 1966*).

leemfractie		zandfractie					grindfractie
		fijn-zandfractie			grof-zandfractie		
lutum- fractie	silt- fractie	fractie van het uiterst fijne zand	fractie van het zeer fijne zand	fractie van het matig fijne zand	fractie van het matig grove zand	fractie van het zeer grove zand	
0	2	50	105	150	210	420	2.000
							µm
korrelgrootteklassen							

2.2.3. Indeling volgens de Rijks Geologische Dienst (RGD)

Korrelgrootteklassen en fractienamen van de RGD (*Rijks Geologische Dienst, 1977*).

lutum- fractie	siltfractie	zandfractie			grind- fractie	stenen- fractie	blokken
0	2	63	2.000	63.000	63	256	µm mm
korrelgrootteklassen							

2.2.4. Indeling volgens de Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders (RIJP)

Korrelgrootteklassen en fractienamen van de Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders (Zuur, 1947).

slib			zand	grind
lutum	sloef			
0	2	16	2.000	
μm korrelgrootteklassen				

2.2.5. Indeling volgens het Bedrijfslaboratorium voor Grond- en Gewasonderzoek

afslibbare delen	zand		grind
	fijner deel	grover deel	
0	16	105	2.000
μm korrelgrootteklassen			

2.2.6. Overzicht van de korrelgrootteklassen van StiBoka, RIJP en RGD

	Korrelgrootteklassen (μm) bij:					
	StiBoka		RIJP		RGD	
lutumfractie	0	- 2	0	- 2	0	- 2
sloeffractie	-		2	- 16	-	
slibfractie	-		0	- 16	-	
siltfractie	2	- 50	-		2	- 63
leemfractie	0	- 50	-		-	
zandfractie	50	- 2.000	16	- 2.000	63	- 2.000
grindfractie		> 2.000		> 2.000	2.000	- 63.000

2.2.7. Grenzen van korrelgrootteklassen

De grenzen van korrelgrootteklassen tussen 0 en 2.000 μm , van 1939-1978 volgens diverse instanties zijn vermeld in tabel 2.1.1. De grenzen op grond van bezinktijd zijn aangegeven met een *. De overige grenzen berusten op de maaswijdte van draadzeven.

Tabel 2.2.1 Grenzen van korrelgrootteklassen tussen 0 en 2000 µm van 1939-1978 volgens diverse instanties

1939	1960		1966	1974		1974	1974	1976		1978
N209 N210	RJP	Stib. Nebo	Stib. SbcN	BGG UGO	RGD uitg.	RGD stan.	Beton	Ker. ind.	LGM	RWS
	*2	*2	*2	*2	*2	*2 *4		*2	*2	
				*8					*6	
*16	*16	(16)		*16				*10		
*23								*20	*20	*20
34				*25						
				35						45
50	50	50	50	50	53	53			60	
					63	63		63		63
75	75			75	75	75				90
105	105		105	105	90					
					106	106				
					125		125			125
150	150		150	150	150	150				180
					180				200	
210	210		200 210	210						
					212	212				
					250		250	250		250
300	300			300	300	300				355
420	420		420	420	355					
					425	425				
					500		500			500
600	600			600	600	600			600	
					710					710
850	850			850	850	850				
1.000					1.000		1.000			1.000
					1.190	1.190				
				1.200						
1.400					1.400					1.400
					1.680	1.680				
				1.700						
2.000	2.000	2.000	2.000		2.000	2.000	2.000		2.000	2.000

* = grenzen op basis van bezinktijd. De overige grenzen zijn gebaseerd op de maaswijdte van draadzeven.

Toelichting bij tabel 2.2.1

N209, N210	=	Normaalbladen "Indeeling en benaming van grondmonsters" (<i>Hoofdcommissie</i> , 1939).
RIJP	=	Rijksdienst voor IJsselmeerpolders (<i>Zuur</i> , 1947).
Stib. Nebo	=	Stichting voor Bodemkartering, Bodemkaart van Nederland op schaal 1:200.000 (<i>StiBoka</i> ; 1965).
Stib. SbcN	=	Stichting voor Bodemkartering, Systeem voor bodemclassificatie voor Nederland (<i>De Bakker en Schelling</i> , 1966).
BGG UGO	=	Bedrijfslaboratorium voor Grond- en Gewasonderzoek, Uitvoerig granulaair onderzoek.
R.G.D. uitg.	=	Rijks Geologische Dienst, uitgebreid onderzoek (<i>Ruegg e.a.</i> , 1974; de maaswijdten komen overeen met die uit normaalblad NEN 2560).
RGD stand.	=	Rijks Geologische Dienst, standaardonderzoek (<i>Ruegg e.a.</i> , 1974).
Beton	=	Voorschriften Beton, normaalblad NEN 3861 (<i>Nederlands Normalisatie Instituut</i> , 1974).
Ker. ind.	=	Grofkeramische industrie, o.a. baksteen (<i>Van Breukelen e.a.</i> , z.j.).
LGM	=	Laboratorium voor Grondmechanica (<i>Visser</i> , 1976).
RWS	=	<i>Rijkswaterstaat</i> , 1978 (komt overeen met de maaswijdten uit aanbeveling R565 van de ISO = International Organization for Standardization).

N.B. In de tabel lopen enigszins door elkaar: indelingen, zoals van de StiBoka, en gebruikte zeefgrenzen, zoals van het Bedrijfslaboratorium, dat niet meer doet dan zich aanpassen bij wat de klant vraagt. Waar men vooral op letten moet, zijn verschillen, zoals bij de term *leemgehalte*. Meestal wordt dan het gehalte aan deeltjes < 50 of $63 \mu\text{m}$ bedoeld. De steenfabrikanten hebben het dan echter over het gehalte aan deeltjes $< 10 \mu\text{m}$.

2.3. Korrelgrootteverdeling

2.3.1. Textuurindeling van de Stichting voor Bodemkartering

Algemeen

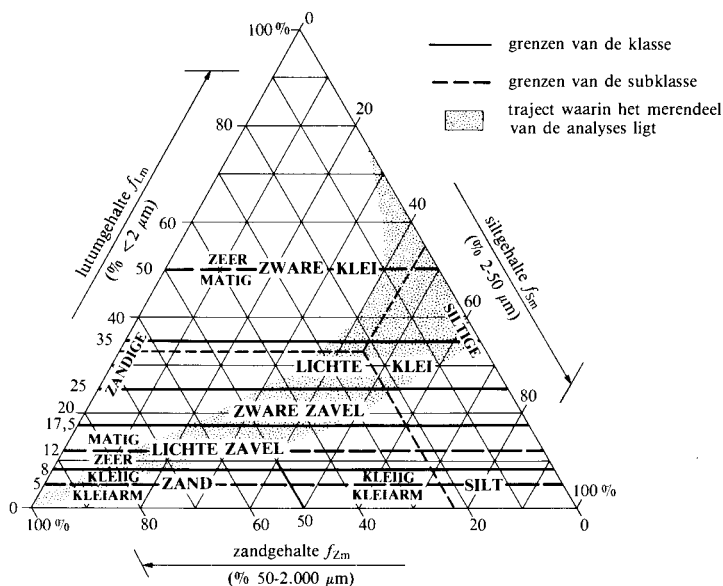
De korrelgrootteverdeling van een grond, ook wel *textuur* genoemd, is een van de belangrijkste en meest onveranderlijke kenmerken van de grond. De korrelgrootte-verdeling wordt uitgedrukt in procenten van de massa van een aantal slib- en zeeffracties, berekend "op de minerale delen". Daaronder verstaat men het over een 2 mm zeef gezeefde en bij 105°C gedroogd monster, na verwijdering van de aanwezige organische stof en koolzure kalk. Bij de indeling worden drie zogenaamde hoofdfracties onderscheiden (*De Bakker en Schelling*, 1966), nl.:

- de *lutum*fractie: fractie $< 2 \mu\text{m}$ (0,002 mm);
- de *silt*fractie: fractie $2\text{--}50 \mu\text{m}$ (0,002-0,05 mm);
- de *zand*fractie: fractie $50\text{--}2.000 \mu\text{m}$ (0,05-2 mm).

De fractie die groter is dan $2.000 \mu\text{m}$ (2 mm), wordt *grind* genoemd.

Het minerale materiaal wordt ingedeeld ofwel naar het percentage van de de lutumfractie - kortweg lutumgehalte genoemd - ofwel naar het percentage van de lutumfractie + de siltfractie, dat wil zeggen naar het percentage $< 50 \mu\text{m}$. Dit noemt men het leemgehalte.

Indeling naar het lutumgehalte



Figuur 2.3.1. Textuurdriehoek van StiBoka voor niet-eolische afzettingen. De indeling geldt niet voor venig materiaal of veen. Naar De Bakker en Schelling, 1966.

Percentages in massa-% op de minerale delen (niet in massa-% op de grond).

Voorbeeld: lutumgehalte 33%

siltgehalte 45 %

zandgehalte 22%

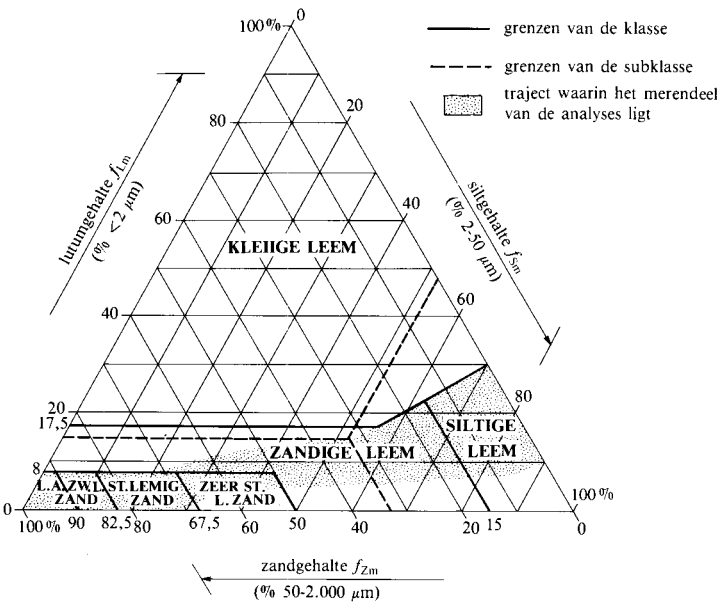
Het monster is een lichte klei.

Tabel 2.3.1. Indeling en benaming naar het lutumgehalte.

% lutum	Naam	Samenvattende naam
0 - 5	kleiarm zand	} zand*
5 - 8	kleigig zand	
8 - 12	zeer lichte zavel	} lichte zavel
12 - 17,5	matig lichte zavel	
17,5 - 25	zware zavel	} zavel
25 - 35	lichte klei	
35 - 50	matig zware klei	} zware klei
50 - 100	zeer zware klei	
		} klei

* Tevens meer dan 50% zandfractie (50-2.000 μm).

Indeling naar het leemgehalte



Figuur 2.3.2. Textuurdriehoek van StiBoka voor eolische afzettingen. Vaak worden ook enige niet-eolische afzettingen hiermee benoemd, zoals stuwwalzand. De indeling geldt niet voor weinig materiaal of veen. Naar De Bakker en Schelling, 1966.

Percentages in massa-% op de minerale delen (niet in massa-% op de grond).

Voorbeeld:
lutumgehalte 15 %
siltgehalte 52 %
zandgehalte 33 %

Het monster is een zandige leem.

Tabel 2.3.2. Indeling en benaming naar het leemgehalte.

% leem			Naam	Samenvattende naam	
0	-	10	leemarm zand	lemig zand	zand*
10	-	17,5	zwak lemig zand		
17,5	-	32,5	sterk lemig zand		
32,5	-	50	zeer sterk lemig zand		
50	-	85	zandige leem	leem	leem
85	-	100	siltige leem		

* Tevens minder dan 8 % lutum.

Indeling naar de mediaan van de zandfractie ($M_z = M50$)

De zandgrofheid wordt gekarakteriseerd door de mediaan van het zanddeel. Hieronder wordt verstaan de korrelgrootte waarboven en waarbeneden de helft van de massa van de deeltjes tussen 50 en 2.000 μm ligt.

Tabel 2.3.3. Benaming van grondmonsters naar de grofheid van het zanddeel, die gekarakteriseerd wordt door M_z (= de mediaan van het zanddeel = M50). Naar *De Bakker en Schelling*, 1966.

M_z (μm) tussen			Benaming naar groftheid van het zanddeel		
			bij zand	bij zavel, klei of leem	
50	en	105	uiterst fijn	} fijn	uiterst fijnzandige
105	en	150	zeer fijn		zeer fijnzandige
150	en	210	matig fijn		matig fijnzandige
210	en	420	matig grof	} grof	matig grofzandige
420	en	2.000	zeer grof		zeer grofzandige

2.3.2. Indeling naar korrelgrootte volgens de Rijks Geologische Dienst

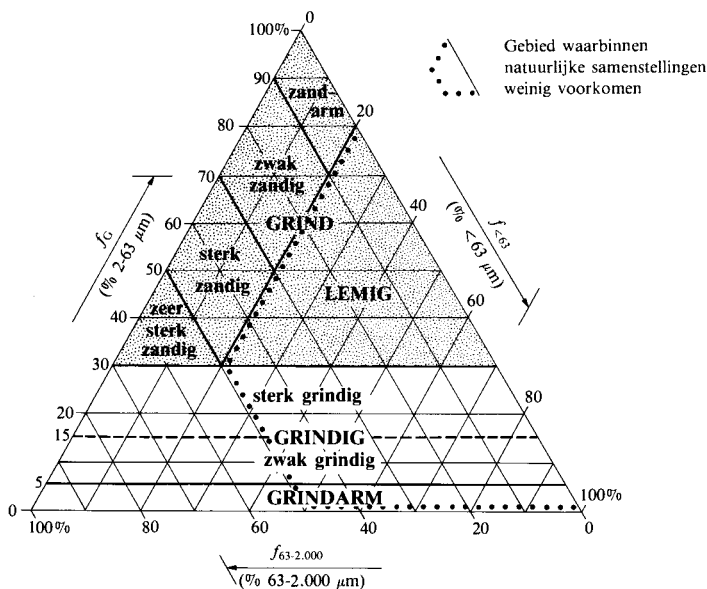
Algemeen

De classificatie van de RGD berust op de in hoofdstuk II. 2.2.3 gegeven klassen en namen voor korrelgroottedelen. Partikels $> 63 \text{ mm}$ worden niet in de naamgeving betrokken, maar wel bij beschrijvingen vermeld. De indeling geldt voor onverharde sedimenten. In eerste instantie wordt een onderscheid gemaakt in klastische en niet-klastische sedimenten, dat wil zeggen sedimenten waarvan de deeltjes in vaste vorm door water, wind of ijs vervoerd zijn, tegenover sedimenten die ontstaan zijn door neerslag uit oplossingen of door ophoping van organische resten. Organische sedimenten worden benoemd met de in hoofdstuk II. 2.4.1 opgenomen organische-stofdriehoek. We beperken ons hier verder tot de klastische sedimenten (met een organische-stofgehalte < 15 à 30%).

In de klastische sedimenten wordt onderscheid gemaakt tussen grind, grindig materiaal en grindarm materiaal (figuur 2.3.3).

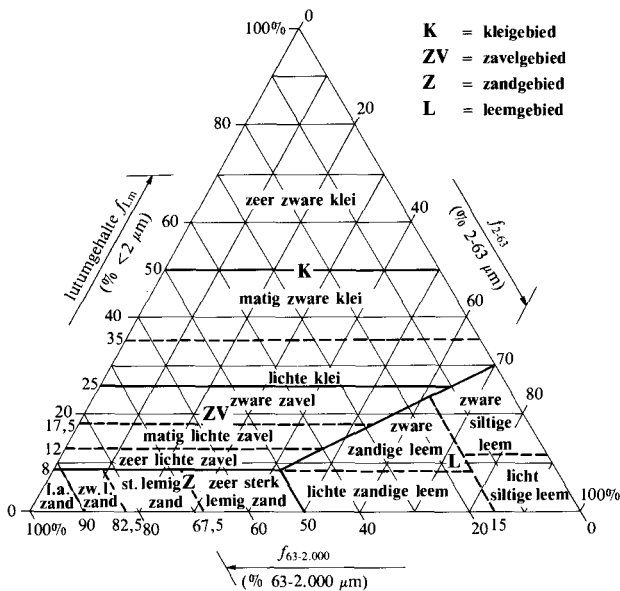
Vervolgens worden grindig en grindarm materiaal onderverdeeld naar de gehaltes aan zandfractie, siltfractie en lutumfractie, die samen op 100% gesteld worden (figuur 2.3.4). Ten slotte wordt de grondsoort zand nog onderverdeeld naar grofheid van de deeltjes tussen 63 en $2.000 \text{ }\mu\text{m}$ (tabel 2.3.4).

Indeling naar het grindgehalte



Figuur 2.3.3. Classificatiedriehoek van de RGD voor materiaal met een grindfractie, een zandfractie en een silt/lutumfractie. Naar Rijks Geologische Dienst, 1977. De termen zandfractie en siltfractie komen niet precies overeen met die van Stiboka.

Indeling naar de gehalten aan zand-, silt- en lutumfractie (van grindig en grindarm materiaal)



Figuur 2.3.4. Classificatiedriehoek van de RGD voor materiaal met een zandfractie, een siltfractie en een lutumfractie. Naar Rijks Geologische Dienst, 1977. De grens tussen silt- en zandfractie is bij 63 μm gelegd.

Indeling naar de grofheid van het zand

Tabel 2.3.4. Benaming van de grofheid van zand volgens de RGD, gebaseerd op de mediaan M_{63} (naar Rijks Geologische Dienst, 1977).

M_{63} (μ) tussen	Benaming van zand naar grofheid van de fractie 63-2.000 μ
63 - 106	uiterst fijn
106 - 150	zeer fijn
150 - 212	matig fijn
	} fijn
212 - 300	matig grof
300 - 425	zeer grof
452 - 2.000	uiterst grof
	} grof

2.3.3. Grondsoortenindeling van de Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders

Algemeen

De hoofdingeling naar korrelgrootte van de RIJP berust op het lutumgehalte (hoofdstuk II. 2.4.4). In tegenstelling tot StBoka en de RGD wordt bij de RIJP het lutumgehalte uitgedrukt op stoofdroke grond ($<200 \mu\text{m}$).

Een nadere karakterisering van zand vindt plaats met behulp van het U_{16} -getal.

Het U_{16} -getal is een grootheid van dimensie 1, die aangeeft hoeveel maal de gezamenlijke oppervlakte van de deeltjes tussen 16 en $2.000 \mu\text{m}$ groter is dan de oppervlakte van een zelfde massa bolvormige deeltjes met een diameter van 1 cm en met gelijke dichtheid.

In moderne termen is U_{16} een areïeke oppervlakte (areïek = gedeeld door oppervlakte; Schurer en Rigg, 1980).

Indeling naar het lutumgehalte

Tabel 2.3.5. Grondsoortenindeling naar lutumgehalte f_{Ld} volgens de RIJP (Zuur, 1947).

$f_{Ld}(\%)$	Naam van de grondsoort	Code
0 - $1\frac{1}{2}$	kleiarm zand A	0
$1\frac{1}{2}$ - 3	kleiarm zand B	1
3 - 5	kleihoudend zand A	2
5 - 8 $U_{16}<120$	kleihoudend zand B	3
5 - 8 $U_{16}>120$	lichte zavel A	3
8 - 12	lichte zavel B	5
12 - 17	zware zavel A	6
17 - 25	zware zavel B	7
25 - 35	klei A	8
35 - 50	klei B	9
50 - 100	klei C	10

Indeling naar het U_{16} -getal van de zandfractie

Tabel 2.3.6. Benaming van zand naar U_{16} -getal volgens de RIJP (Zuur, 1947).

U_{16}	Naam van zand naar areïeke oppervlakte van deel	Code
< 50	grof	a
50 - 80	matig fijn	b
80 - 120	middelfijn	c
120 - 180	zeer fijn	d
180 - 270	uiterst fijn	e
270 - 400	uiterst fijn	f

Bij zand kunnen we dus combinatienamen krijgen, zoals "kleiarm, grof zand B" (code: 1a).

Tabel 2.3.7. U_{16} -getal van de subfracties (volgens Normblad N210).

Subfractie (in μm)	U_{16}
16 - 50	373
16 - 23	530
23 - 34	360
34 - 50	244
50 - 75	164,4
75 - 105	113,2
105 - 150	80,1
150 - 210	56,6
210 - 300	40,1
300 - 420	28,3
420 - 600	20,0
600 - 850	14,1
1.000 - 1.400	10,0
1.400 - 2.000	7,0

Tabel 2.3.8. Globaal verband tussen M50, % <50 μm en U_{16} voor zandmonsters (0-8% lutumfractie, 0-50% leemfractie). Naar ongepubliceerde gegevens van StiBoka.

%<50 μm	M50				
	50-75	75-105	105-150	150-210	210-300
0 - 10	x	x	65-115	50- 90	35-80
10 - 17,5	x	x	80-140	70-110	60-90
17,5 - 32,5	x	130-180	120-170	100-160	x
32,5 - 50	190-260	170-210	150-200	x	x

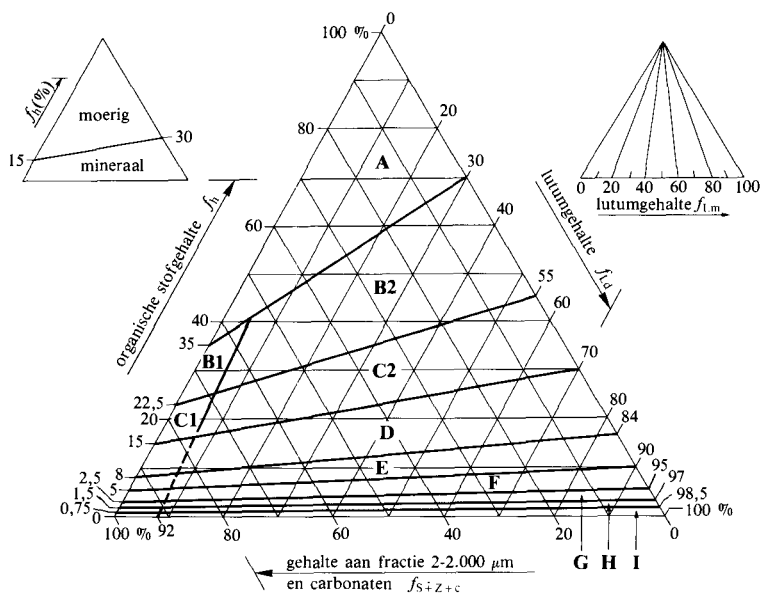
x = zandsoort die weinig voorkomt.

2.4. Overige indelingen bij de Stichting voor Bodemkartering

2.4.1. Organische stof

De indeling naar het gehalte aan organische stof berust op de massafractie (voorheen gewichtspercentage) organische stof berekend op de grond (humusgehalte) en op het lutumgehalte berekend op de minerale delen (figuur 2.4.1).

De indeling brengt tot uiting wat empirisch bij het schatten van grondmonsters te velde blijkt, namelijk dat zwaardere grondsoorten een hoger humusgehalte moeten hebben dan lichtere grondsoorten om even "humeus" genoemd te worden (*Haans, 1975; Bennema en Van der Woerd, 1960*).



Figuur 2.4.1. Indeling en benaming van de organische-stofklassen bij StiBoka. Naar De Bakker en Schelling, 1966.

Mineraal materiaal (D t/m I) wordt verder naar textuur ingedeeld volgens de figuren 2.3.1 en 2.3.2, terwijl moerig materiaal (A, B en C) hier niet verder naar textuur wordt ingedeeld en de klasse veen (A) helemaal niet naar textuur is ingedeeld. De RGD hanteert dezelfde driehoek, maar verdeelt humeus en humusarm niet onder. Volgens het principe van de kleinste driehoek rechtsboven kan aan de hand van het lutumgehalte van de minerale delen en het organische-stofgehalte de plaats in de figuur bepaald worden.

A	veen	} moerig materiaal	D	humusrijk	} mineraal materiaal
B1	zandig veen		E	zeer humeus	
B2	kleiig veen		F	matig humeus	
C1	venig zand		G	matig humusarm	
C2	venige klei		H	zeer humusarm	
			I	uiterst humusarm	

Tabel 2.4.1. Indeling naar het organische-stofgehalte voor materiaal met een laag lutumgehalte.

% humus	naam			
0 - 2½	humusarm zand	} humeus zand	} mineraal	
2½ - 5	matig humeus zand			
5 - 8	zeer humeus zand			
8 - 15	humusrijk zand			
15 - 22½	venig zand	} moerig		
22½ - 35	zandig veen			
35 - 100	veen			

Spreiding van organische-stofgehalten

Het organische-stofgehalte van de Nederlandse gronden vertoont een vrij grote spreiding. Het varieert van enkel tienden van procenten in stuifzand tot 90 à 98% in bolster, jong veenmosveen, waarvan turfstrooisel wordt gemaakt. Oorzaak van de verschillen zijn de uiteenlopende omstandigheden waaronder afbraak van organisch materiaal plaatsvindt (nat of droog), bodemgebruik (bouwland, grasland, bos), de aard van de organische stof (rijk of arm) en het al of niet bereikt hebben van een evenwicht tussen vorming en afbraak (gescheurd grasland).

Van de minerale gronden hebben de bouwvoor en zode gewoonlijk het hoogste organische-stofgehalte.

Tabel 2.4.2. Organische-stofgehalte f_h en lutumgehalte f_{Lm} in de bouwvoor van een aantal minerale gronden onder bouwland. Naar gegevens uit de archieven van StiBoka.

	f_h (%)	f_{Lm} (%)	Aantal monsters
poldervaaggronden in jonge rivierklei	$3,7 \pm 1,8$	28	172
poldervaaggronden in jonge zeeklei	$2,5 \pm 1,2$	22	519
leek- en woudeerdgronden in oude zeeklei	$6,0 \pm 1,8$	27	20
brikgronden	$2,1 \pm 0,5$		41
zwarte enkeerdgronden	$5,1 \pm 2,1$		245
veld- en laarpodzolgronden	$5,3 \pm 3,0$		176
gooreerdgronden	$5,1 \pm 4,3$		37
moderpodzolgronden	$3,3 \pm 2,0$		82

Tabel 2.4.3. Stijging van het organische-stofgehalte f_h met lutumgehalte f_{Lm} . Naar gegevens uit de archieven van StiBoka.

f_{Lm} (%)	Rivierklei		Zeeklei	
	f_h (%)	aantal monsters	f_h (%)	aantal monsters
8,0 - 17,5	$2,4 \pm 0,8$	39	$2,0 \pm 0,6$	193
17,5 - 25,0	$2,9 \pm 1,0$	38	$2,4 \pm 1,2$	154
25,0 - 35,0	$3,6 \pm 1,3$	51	$2,9 \pm 1,1$	128
> 35,0	$5,7 \pm 1,6$	44	$3,7 \pm 1,6$	44

Tabel 2.4.4. Regionale verschillen in organische-stofgehalte f_h in de bouwvoor van zandgronden. Naar gegevens uit de archieven van StiBoka.

Enkeerdgronden			Veldpodzol- en laarpodzolgronden	
	f_h (%)	aantal monsters	f_h (%)	aantal monsters
zuiden	$3,4 \pm 0,9$	74	$3,7 \pm 1,2$	81
midden	$5,3 \pm 1,5$	101	$5,0 \pm 1,3$	25
noorden	$6,7 \pm 2,3$	65	$7,2 \pm 3,6$	70

2.4.2. Indeling naar het koolzure-kalkgehalte

Bij de kartering schat men het koolzure-kalkgehalte van bodemmateriaal aan de mate van opbruisen met verdund zoutzuur (10% HCl). Er worden drie kalkklassen onderscheiden:

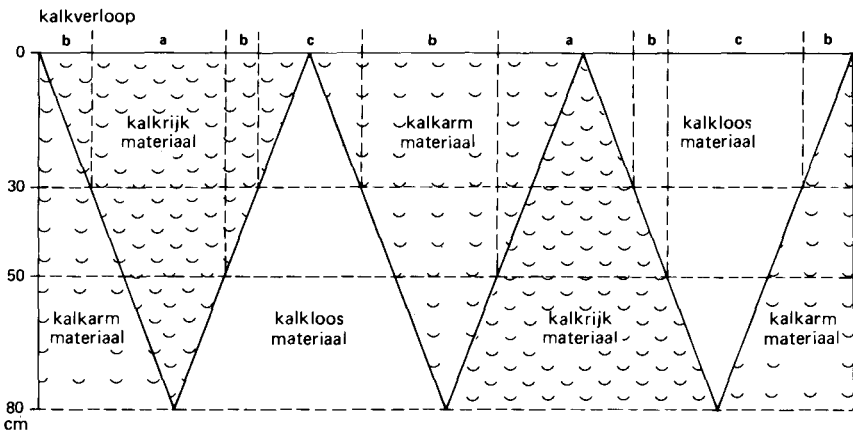
1. Kalkrijk materiaal: zichtbare opbruising; overeenkomend met meer dan 1 à 2% CaCO_3 , analytisch bepaald*.
2. Kalkarm materiaal: hoorbare opbruising; overeenkomend met 0,5-1 à 2% CaCO_3 .
3. Kalkloos materiaal: geen opbruising; overeenkomend met minder dan 0,5% CaCO_3 .

De cijfers 1, 2 en 3 worden bij de eenhedenbeschrijving en in de profielschetsen van de *Toelichting* gebruikt. In een grond kunnen lagen met verschillend kalkgehalte boven elkaar voorkomen. Deze verschillen kunnen zijn ontstaan doordat de lagen reeds bij hun afzetting een verschillend kalkgehalte hadden; ze kunnen echter ook het gevolg zijn van ontkalking.

Naar het verloop van het koolzure-kalkgehalte in het profiel worden drie kalkverlopen onderscheiden (fig. 2.4.2):

- kalkverloop a (kalkrijk);
- kalkverloop b (kalkarm);
- kalkverloop c (kalkloos).

Bovenstaande drie kalkverlopen zijn, onder andere in verband met de karteerbaarheid, steeds zo gecombineerd dat er een tweedeling ontstaat. Deze tweedeling is voor de zee-kleigronden anders dan voor de overige gronden (tabel 2.4.5).



Figuur 2.4.2. Schematische voorstelling van de kalkverlopen in verband met het koolzure-kalkgehalte.

* De geanalyseerde hoeveelheid CO_2 , omgerekend in massaprocenten CaCO_3 (op de grond).

Tabel 2.4.5. Indeling, codering en benaming van de gronden naar het kalkverloop.

Kalkverloop			Code op de bodem kaart	Benaming
a kalkrijk	b kalkarm	c kalkloos		
Zeekleigronden (M)				
x			} ...A	kalkrijke zeekleigronden
x	x			
	x		} ...C	kalkarme zeekleigronden
	x	x		
		x		
Rivierkleigronden (R), kalkhoudende zandgronden (Z...A), en kalkhoudende bijzondere lutumarme gronden (S...A)				
x			} ...A	kalkhoudende rivierkleigronden
	x			kalkhoudende zandgronden
x	x			kalkhoudende bijzondere
x	x	x		lutumarme gronden
x	x	x	} ...C*	kalkloze rivierkleigronden
		x		

* Bij de kalkloze zandgronden wordt de code C korthedshalve weggelaten.

Wanneer in de code van een legenda-eenheid de kalkcode ontbreekt, kan dit twee betekenissen hebben:

- De kalkcode is korthedshalve weggelaten bij podzolgronden, brikgronden, enkeerdgronden, oude (rivier)kleigronden en leemgronden. Deze zijn altijd kalkloos. In de bloembollenstreek zijn kalkhoudende enkeerdgronden onderscheiden. Ze zijn gecodeerd als EZ...A.
- Bij de overige gronden waarbij geen kalkcode voorkomt (onder andere bij de eerdgronden in de rivierklei) is geen indeling naar het kalkverloop gemaakt.

2.4.3. Indeling naar het profielverloop

Onder profielverloop verstaat men de verandering in de aard en de samenstelling van het moedermateriaal met de diepte. Bij veel zeeklei- en rivierkleigronden en bij een deel van de dikke eerdgronden en van de niet-gerijpte minerale gronden is het profielverloop bij de indeling gebruikt. De profielverlopen (fig. 2.4.3) zijn als volgt omschreven.

Profielverloop 1 - zavel of klei op veen

Zavel- en kleigronden met meer dan 40 cm moerig materiaal (humusklasse veen of veenig), beginnend tussen 40 en 80 cm.

Profielverloop 2 - zavel of klei op zand

Zavel- en kleigronden met een zandlaag van meer dan 20 cm dikte, beginnend tussen 25 en 80 cm. Uitgezonderd gronden met

- kleiig, uiterst fijn zand (5-8% lutum; $M_{50} < 105 \mu\text{m}$);
- boven het zand een niet-kalkrijke, zware kleilaag die voldoet aan de eisen gesteld bij profielverloop 3.

Profielverloop 3 - zavel of klei op een tussenlaag van niet-kalkrijke zware klei

Zavel- en kleigronden met een niet-kalkrijke, zware kleilaag (>35% lutum) die

- òf begint binnen 25 cm en doorloopt tot ten minste 40 cm;
 - òf begint tussen 25 en 80 cm en ten minste 15 cm dik is;
- in beide gevallen rustend op een lichtere of kalkrijke ondergrond die
- òf binnen 80 cm begint en ten minste 40 cm dik is;
 - òf dieper dan 80 cm begint en doorloopt tot dieper dan 120 cm.

Profielverloop 4 - zavel of klei op een ondergrond van niet-kalkrijke zware klei

Zavel- en kleigronden met een niet-kalkrijke, zware kleilaag (>35% lutum) die binnen 80 cm begint en die

- òf doorloopt tot dieper dan 120 cm;
- òf ten minste 15 cm dik is en aansluitend tussen 80 en 120 cm diepte overgaat in moerig materiaal dat doorloopt tot dieper dan 120 cm.

Profielverloop 5 - overige zavel of klei met homogene, aflopende en oplopende profielen

Zavel- en kleigronden die niet vallen onder de definities van de profielverlopen 1, 2, 3 of 4. Hiertoe behoren onder andere:

- Homogene profielen; tot 80 cm diepte weinig variatie in textuur (N.B.: profielen die geheel uit niet-kalkrijke, zware klei bestaan, behoren tot profielverloop 4).
- Aflopende profielen; tussen 0 en 80 cm diepte neemt het lutumgehalte af zonder de textuurklasse zand te bereiken; binnen 80 cm mag wel kleiig, uiterst fijn zand voorkomen (zie profielverloop 2).
- Oplopende profielen; tussen 0 en 80 cm diepte neemt het lutumgehalte toe; binnen 80 cm komt echter geen kalkloze of kalkarme, zware klei voor.
- Alle profielen met dunne moerige lagen, zandlagen of niet-kalkrijke, zware kleilagen en dergelijke binnen 80 cm.

De profielverlopen worden steeds aangeduid met hun nummer, dat ook in de codering is opgenomen. Soms zijn echter enkele profielverlopen gecombineerd (tabel 2.4.6).

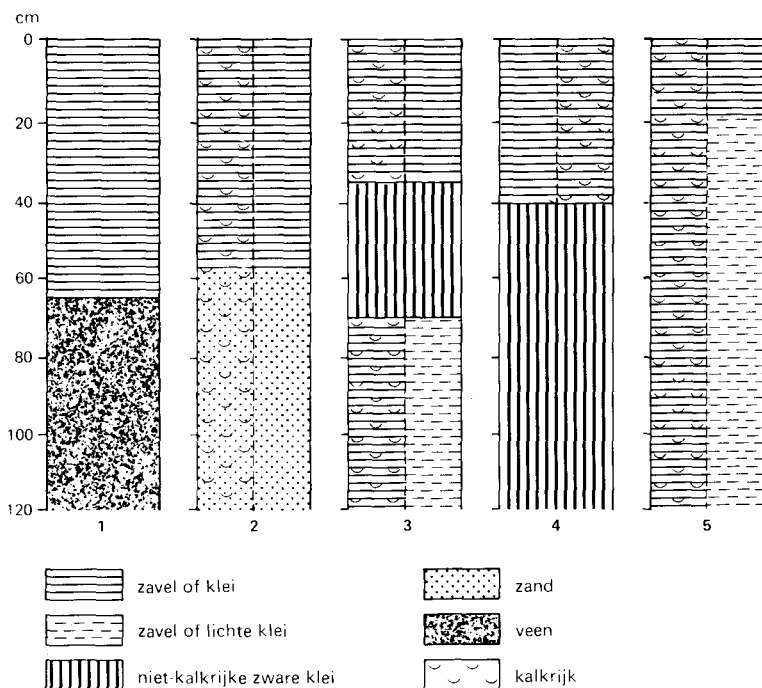
Tabel 2.4.6. Combinaties van profielverlopen.

Code ¹	Combinaties van de profielverlopen	Opmerkingen
..6	3 of 3+4 of 4	3 en 4 niet afzonderlijk onderscheiden
..7	3 of 3+4	4 afzonderlijk onderscheiden ²
..8	4 of 4+3	3 afzonderlijk onderscheiden ³
..9	2 of 2+5 of 5	2 en 5 niet afzonderlijk onderscheiden ²
..0	1, 2, 3, 4 en/of 5	geen indeling

¹ Dit codecijfer wordt steeds voorafgegaan door een cijfer voor de bouwvoorwaarde.

² Komt alleen bij de rivierkleigronden (R) voor.

³ Komt alleen bij de zeekleigronden (M) voor.



Figuur 2.4.3. Voorbeelden van de profielverlopen 1 tot en met 5, schematisch voorgesteld.

2.4.4. Grondwatertrappen

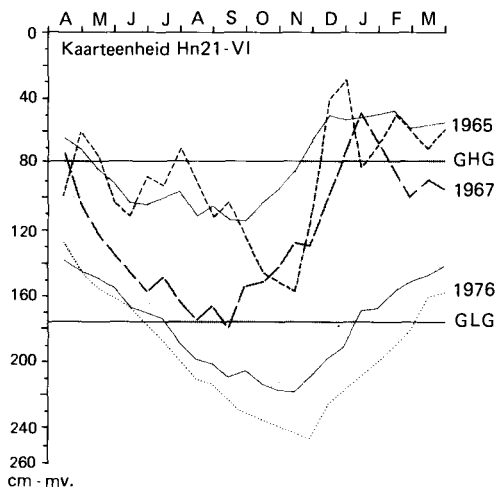
Op de bodemkaarten wordt de positie van het grondwater ten opzichte van het maaiveld aangegeven. Hiertoe is een landelijk systeem van grondwatertrappen (Gt's) ontwikkeld, gebaseerd op de gemiddeld hoogste (GHG) en de gemiddeld laagste (GLG) grondwaterstand. Deze grootheden geven de diepte beneden maaiveld tot waar - onder gemiddelde weersomstandigheden - de grondwaterstand in de winter stijgt en in de zomer daalt.

Gemiddeld hoogste (GHG) en gemiddeld laagste (GLG) grondwaterstand

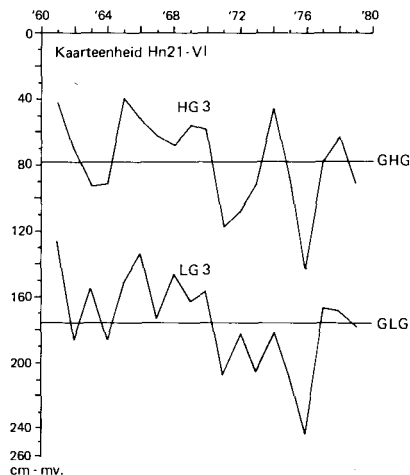
De grondwaterstand heeft gedurende het jaar een golfvormig verloop met meestal in de winter de hoogste en in de zomer de laagste standen. Jaarlijkse verschillen in neerslag en verdamping en hun verdeling over het jaar veroorzaken jaarlijkse verschillen in grootte van de fluctuatie en in het tijdstip waarop de grondwaterstand begint te dalen of te stijgen (fig. 2.4.4).

Behalve het weer zijn ook de hydrologische situatie (onder andere af- en ontwatering, kwel, wegzijging) en de fysische bodemeigenschappen (onder andere doorlatendheid, bergend vermogen) mede bepalend voor de grootte van de fluctuatie.

Om de fluctuatie van het grondwater en het niveau van deze fluctuatie te karakteriseren, moet men de van jaar tot jaar verschillende fluctuaties en het bijbehorende niveau tot een gemiddelde herleiden. Daartoe berekent men per hydrologisch jaar (1 april-31 maart), waarin op of omstreeks de 14de en 28ste van elke maand in geheel geperforeerde, 2 à 3 m lange buizen de grondwaterstand is gemeten, het rekenkundig gemiddelde van de hoogste drie (HG3) en de laagste drie (LG3) standen (fig. 2.4.5). De over ten minste 8 jaren gemiddelde waarden van de HG3 resp. LG3 geven de gemiddeld hoogste (GHG) resp. gemiddeld laagste (GLG) grondwaterstand.



Figuur 2.4.4.
Verloop van de grondwaterstand in een nat (1965), een normaal (1967) en een droog hydrologisch jaar (1976). Het gebied dat wordt begrensd door het 10%-over- en 10%-onderschrijdingsniveau is gerasterd.



Figuur 2.4.5.
Fluctuatie van de HG3 en LG3 in de periode 1961-1979.

Grondwatertrappen

Om het grondwaterstandverloop van vlakken weer te geven, moeten de mogelijke combinaties van GHG en GLG tot een beperkt aantal klassen worden teruggebracht. De grondwatertrappenindeling die op de Bodemkaart van Nederland, schaal 1:50.000 wordt gebruikt, telt 7 klassen en een viertal zogenaamde drogere varianten (tabel 2.4.7).

De indeling is vrij ruim, omdat de nauwkeurigheid van de schatting geen nauwere grenzen toelaat.

De in tabel 2.4.7 aangegeven diepten voor de GHG van een Gt* dienen alleen ter bepaling van de gedachten. Een vlak met een Gt* bestaat overwegend uit de drogere variant van de betrokken Gt. Het ontbreken van een * houdt echter niet in dat in het vlak uitsluitend een nattere variant voorkomt. Het kan ook zijn dat drogere en nattere delen elkaar in een bont patroon afwisselen. Statistisch heeft een vlak met een Gt zonder * een hogere GHG dan een met *, maar puntsgewijs hoeft dat niet het geval te zijn.

Tabel 2.4.7. Grondwatertrappenindeling.

Grondwatertrap	I	II ¹	III ¹	IV	V ¹	VI	VII ²
GHG in cm beneden maaiveld	(<20)	(<40)	<40	>40	<40	40-80	>80
GLG in cm beneden maaiveld	<50	50-80	80-120	80-120	>120	>120	(>160)

¹ een * achter deze Gt-codes betekent "droger deel". Om de gedachten te bepalen: met een GHG dieper dan 25 cm beneden maaiveld.

² een * achter deze Gt-code duidt op een "zeer droog deel", waarbij de GHG dieper dan 140 cm wordt verwacht.

In buitendijkse gronden (onderhevig aan inundatie) en in enkele samengestelde kaartenheden wordt geen Gt onderscheiden. Een geschiktheidsbeoordeling blijft dan achterwege.

Het karteren van grondwatertrappen

De kartering van grondwatertrappen berust op twee pijlers:

- de uit reeksen van grondwaterstandsmetingen berekende GHG en GLG voor een groot aantal meetpunten, zgn. referentiepunten, verspreid over het gehele land;
- de kennis van het verband tussen GHG resp. GLG en bepaalde profiel- en veldkenmerken (Van Heesen, 1971; Van Wallenburg, 1973).

Overschrijdingsduur van de grondwaterstanden

Er is een methode ontwikkeld om uit de GHG en de GLG de overschrijdingsfrequentie van een bepaalde grondwaterstand te berekenen (Van der Sluijs en De Gruijter, 1985). Daaruit kan de overschrijdingsduur van een bepaalde grondwaterstand binnen de verschillende Gt-klassen worden afgeleid (tabel 2.4.8). Deze overschrijdingsduur, die niet uit een aaneengesloten periode hoeft te bestaan, is de gesommeerde gemiddelde tijdsduur per hydrologisch jaar met grondwaterstanden ondieper dan een bepaalde waarde. Voor de omzetting naar de Gt-klassen zijn per Gt de GHG en de GLG van de natste en de droogste variant gebruikt, waarbij alleen in de praktijk voorkomende uitersten zijn genomen. Bovendien is tussen GHG en GLG een minimaal verschil van 30 cm aangenomen.

Tabel 2.4.8. Omzetting van grondwatertrappen in tijdsduurklassen.

Gt	GHG (cm)	GLG (cm)	Tijdsduur in maanden van grondwaterstanden		
			<40 cm	<80 cm	<120 cm
I	-	< 50	> 10	-	-
II ¹	-	50 - 80	< 10	> 10	-
III ¹	< 40	80 - 120	< 5	5 - 10	> 10
IV	> 40	80 - 120	< 1	1 - 10	> 10
V ¹	< 40	> 120	< 5	-	5 - 10
VI	40 - 80	> 120	< 1	-	5 - 10
VII ²	> 80	> 120	-	< 1	1 - 5

¹ Van het "droger deel" is de grondwaterstand minder dan 1 maand ondieper dan 25 cm.

² Van het "zeer droge deel" is de grondwaterstand minder dan 1 maand ondieper dan 80 cm.

Gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand

Voor het aangeven van de grondwaterstand bij het begin van het groeiseizoen (waarvoor als vaste datum 1 april is gekozen), is de gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand (GVG) ingevoerd. Deze is onder andere van belang bij de vaststelling van het vochtleverend vermogen (zie hfdst. II. 3.2.2). Voor de GVG is de volgende eenvoudige formule afgeleid:

$$\text{GVG} = \text{GHG} + 0,2 (\text{GLG} - \text{GHG}) + 5 \text{ cm}$$

2.4.5. Horizontbenamingen

De lagen die men in de bodem kan waarnemen, worden horizonten genoemd. Ze verschillen van elkaar door bijvoorbeeld hun gehalte aan humus, ijzer, lutum, kalk of door kleur, structuur en consistentie.

Om verschillende gronden op uniforme wijze te kunnen beschrijven, geeft men min of meer overeenkomstige bodemhorizonten met vaste letter- en cijfercombinaties aan (fig. 2.4.6). Bij de profielschetsen van de verschillende kaarteenheden worden de volgende horizontcodes en -benamingen gebruikt.

Hoofdhorizonten

- A0 Een moerige horizont, bestaande uit onverteerde en weinig verteerde planteresten, opgehoopt in een aëroob milieu op het onderliggende minerale materiaal (strooisellaag).
- A1 Een minerale of moerige, donker gekleurde horizont, ontstaan aan of nabij het oppervlak waarin de organische stof geheel of gedeeltelijk is omgezet (humushoudende bovengrond).
- A2 Een minerale, licht gekleurde horizont die door uitspoeling verarmd is aan kleimineralen, ijzer, aluminium of aan alle drie (uitspoelingshorizont of loodzandlaag).
- B Een minerale of moerige horizont waaraan door inspoeling bestanddelen zijn toegevoegd, zoals humus of lutum (inspoelingshorizont). Het sterkst ontwikkelde deel wordt B2 genoemd.
- C Een minerale of moerige horizont die weinig (C1) of nauwelijks (C2) door bodemvorming is veranderd. Er mag worden aangenomen dat de bovenliggende horizonten uit soortgelijk materiaal zijn ontstaan (moedermateriaal). Bij afspraak worden kalkloze minerale horizonten steeds als C1 en kalkrijke horizonten als C2 aangegeven.
- D Een minerale of moerige horizont die weinig of nauwelijk door bodemvorming is veranderd. Er mag worden aangenomen dat de bovenliggende horizonten niet uit soortgelijk materiaal zijn ontstaan (sterk afwijkende ondergrond).
- G Een minerale of moerige, niet-geaëerde horizont, bij mineraal materiaal meestal donkergrijs of donker blauwgrijs van kleur ("gereduceerde" ondergrond); bij moerig materiaal meestal donkerbruin, na oxydatie veranderd in grijs, resp. zwart tot donkergrijs.

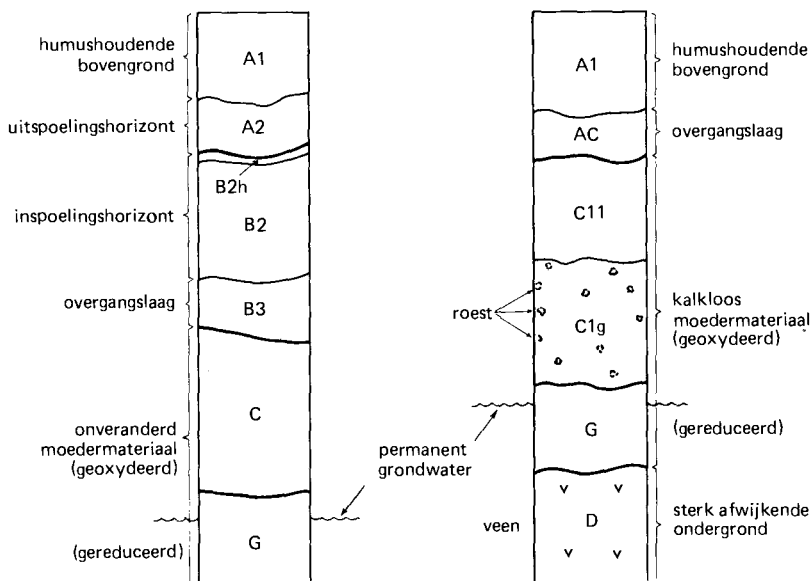
Overgangshorizonten

- AC Een geleidelijke overgang van een A1- naar een C-horizont.
 AB Een geleidelijke overgang naar een B-horizont.
 B3 Een geleidelijke overgang naar een C-horizont.
 BC Een zeer geleidelijke overgang naar een C-horizont.
 CG Een geleidelijke overgang van een roestige C-horizont (Cg) naar een G-horizont.
 (N.B. Een DG is géén overgangshorizont, maar een D-horizont die tevens aan de omschrijving van een G-horizont voldoet.

Lettertoevoegingen

- ..p Een door de mens bewerkte horizont, zoals de bouwvoor (Ap).
 ..an Door de mens opgebracht materiaal, zoals het mestdek van de enkeerdgronden (Aan).
 ..b Na de bodenvorming door de mens of door de natuur begraven horizont.
 ..h Voorkomen van duidelijke roestvlekken.
 ..h Sterke verrijking met amorf humus bij een B2.
 ..ir Sterke verrijking met ijzer bij een B2.
 ..t Het ingespoelde materiaal van de B bestaat uit lutum.
 ..v Een gliedelaag, mede ontstaan door inspoeling van amorf humus vanuit het bovenliggende veen (meestal BvA0b).

De bodemhorizonten kunnen verder worden onderverdeeld door achtervoeging van doorlopende cijfers. Zo kan men de A1-horizont splitsen in A11, A12 enz.



Figuur 2.4.6. Hypothetische bodemprofielen met aanduiding van de belangrijkste horizonten.

2.4.6. Structuur

Inleiding

Grond bestaat uit een minerale en een organische fase en holten die gevuld zijn met lucht en/of water. De ruimtelijke opbouw van zo'n systeem noemt men de *structuur van de grond*. Hieronder wordt verstaan ruimtelijke rangschikking, vorm en grootte van de elementaire bodembestanddelen en hun eventuele aggregaten of structuurelementen, alsmede van de holten die in de bodem voorkomen.

In veel gevallen, met name in zandgronden, is de aard van de structuur zonder vrij sterke vergroting niet vast te stellen. Vandaar dat er een onderverdeling is gemaakt in macro- en microstructuren.

Macrostructuren zijn structuren die met het ongewapend oog of met een loep (4×) zijn waar te nemen. Globaal kan gesteld worden dat ze voorkomen in klei-, zavel- en leemlagen.

Microstructuren zijn alleen te zien met behulp van een stereomicroscop of door microscopisch onderzoek aan slijpplaten. Microstructuren komen bij alle textuurklassen voor. In dit hoofdstuk wordt hierop niet nader ingegaan.

Structuurvormende processen

Pedogene structuren

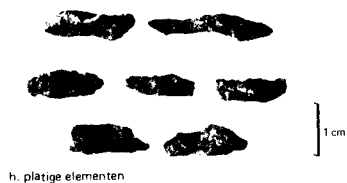
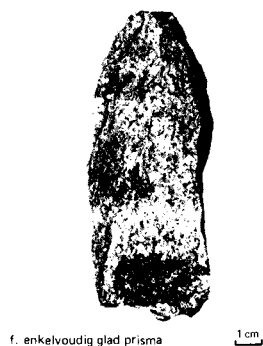
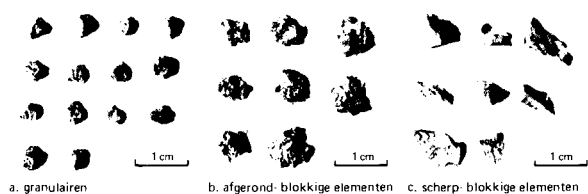
Dit zijn structuren die het resultaat zijn van bodemvormende processen. Pedogene structuurvorming is het resultaat van twee tegengesteld gerichte, maar vaak gezamenlijk optredende groepen processen die leiden tot resp. fragmentatie en granulatie.

Fragmentatie

Fragmentatie is de vorming van structuurelementen door fysische processen. Hierin is het belangrijkste proces krimp en breuk van natte (dus gezwollen) grond ten gevolge van indroging, maar ook de fragmenterende werking van ijskristallen is een structuurvormende factor van betekenis. Door fragmentatie ontstaan weinig poreuze structuurelementen met gladde, vlakke en scherpe ribben (hoekige kluiten).

Granulatie

Granulatie is een overwegend biologisch proces (activiteit van bodemdieren en wortels bij de aanwezigheid van een zekere hoeveelheid humus). Door granulatie ontstaan afgeronde, min of meer poreuze structuurelementen.



Figuur 2.4.7. Structuurvormen.

Morfologische structuurindeling (StiBoka)

Afzonderlijke horizonten

De macrostructuren van de afzonderlijke horizonten worden onderverdeeld in macrostructuren met en zonder elementen (tabel 2.4.9).

Macrostructuren met elementen (pedale structuren)

Structuurelementen worden gekarakteriseerd naar hun vorm, grootte en structuurgraad.

VORM

Naar de *vorm* worden de volgende structuurelementen onderscheiden:

- a. *Blokkige vormen*. Bij blokkige vormen zijn de drie assen vrijwel van gelijke lengte. Ze worden onderverdeeld in:
 - granulaire met een min of meer ronde vorm (fig. 2.4.7a);
 - afgerond-blokkige elementen met afgeronde hoeken en ribben met ruwe of gladde vlakken (fig. 2.4.7b);
 - scherp-blokkige elementen met uitsluitend scherpe hoeken en ribben met gladde vlakken (fig. 2.4.7c);
 - kluiten die zowel afgerond- als scherp-blokkig kunnen zijn, maar niet aan alle zijden door natuurlijke scheuren begrensd.
- b. *Prismatische vormen*. Prismatische vormen hebben een verticale as die aanzienlijk langer is dan de horizontale assen. Een onderverdeling wordt gemaakt naar de ruwheid van de structuurvlakken in ruwe en gladde prisma's (fig. 2.4.7d t/m g). Deze worden verder onderverdeeld in enkelvoudige en samengestelde prisma's. De laatste zijn opgebouwd uit kleinere structuurelementen.
- c. *Platige vormen*. Platige vormen (fig. 2.4.7h) hebben een verticale as die aanzienlijk korter is dan de horizontale assen. Er is geen verdere onderverdeling.

GROOTTE

De *grootte* van de onderscheiden vormen, die wordt aangegeven in cm, wordt bepaald aan (één van) de kortste assen. Dit is bij blokkige vormen één van de drie assen, bij prismatische vormen één van de horizontale assen en bij de platige vormen de verticale as.

STRUCTUURGRAAD

De *structuurgraad* is een maat voor de ontwikkeling van de structuurelementen, uitgedrukt in drie klassen:

- *Zwak ontwikkeld*. De grondmassa bestaat voor 30% uit structuurelementen die zich slechts bij openbreken laten isoleren;
- *Matig ontwikkeld*. De grondmassa bestaat voor 30-70% uit structuurelementen die zich gedeeltelijk bij lossteken en verder bij openbreken laten isoleren.
- *Sterk ontwikkeld*. De grondmassa bestaat voor 70% uit structuurelementen die zich meestal bij lossteken laten isoleren.

Tabel 2.4.9. Indeling van de macrostructuren van de afzonderlijke elementen.

A. HOOFDINDELING.

Macrostructuren	- met elementen (B)
	- zonder elementen (C)
Microstructuren	

B. MACROSTRUCTUREN MET ELEMENTEN.

Hoofdvorm	Onderverdeling		Grootteklassen		Structuurgraad
			benaming	afmeting (cm)	
blok	- granulair		zeer klein	< 0,2	zwak
			vrij klein	0,2 - 0,5	
	- afgeronde blokken		middelgroot	0,5 - 1,0	matig
			vrij groot	1 - 2	
	- scherpe blokken		zeer groot	> 2	sterk
prisma	enkelvoudig	glad	zeer klein	< 1	
		of	vrij klein	1 - 2	
	samengesteld	ruw	middelgroot	2 - 5	
			vrij groot	5 - 10	
			zeer groot	> 10	
plaat	gestapelde plaat		zeer dun	< 0,2	
			vrij dun	0,2 - 0,5	
			matig dik	0,5 - 1	
			vrij dik	> 1	

C. MACROSTRUCTUREN ZONDER ELEMENTEN.

Hoofdvorm	Onderverdeling
gatenstructuur	- sponsstructuur
	- gangenstructuur
	- wormgangenstructuur - wortelgangenstructuur
gelaagd complex	- weinig verstoord (<10% verstoring)
	- matig verstoord (10-70% verstoring)
	- sterk verstoord (>70% verstoring)
	- zeer sterk verstoord
korststructuur	
massief	

Macrostructuren zonder elementen (a-pedale structuren)

Hiervoor geldt de volgende indeling:

- . *Gatenstructuur*. Deze kenmerkt zich door een stelsel van al of niet onderling verbonden holten en gangen.
- . *Gelaagd complex*. Hieronder wordt verstaan een fijne gelaagdheid van sedimenten die verschillen in korrelgrootteverdeling.
- . *Korststructuur*. Dit zijn vaak de gelaagde, aan de oppervlakte gelegen korsten die kenmerkend zijn voor oppervlakkige slomp.
- . *Massieve structuur*. Hierin ontbreken niet alleen de structuurelementen, maar bovendien is het materiaal zo dicht gepakt, dat macroporiën vrijwel ontbreken.

Verticale opeenvolging van structuurhorizonten (structuurprofiel)

In een grond komen doorgaans diverse horizonten voor met verschillende structuur. Zo'n verticale opeenvolging wordt een structuurprofiel van het betreffende bodemprofiel genoemd. Verschillen in vorm, in grootte en porositeit van de elementen, in structuurgraden, in dikte en diepte van de horizonten met verschillende structuur maken dat er een grote verscheidenheid aan structuurprofielen bestaat. Deze moeten daarom worden gegroepeerd tot een beperkt aantal eenheden, de structuurverlopen.

Onder een structuurverloop wordt verstaan een groep structuurprofielen die gekenmerkt zijn door een verticale opeenvolging van horizonten met een bepaalde structuur, waarvan de morfologische kenmerken, de dikte en de diepte binnen zekere grenzen kunnen variëren (*Reijmerink*, 1967). Welke randvoorwaarden aan een bepaald structuurverloop gesteld worden, is afhankelijk van de doelstelling waarvoor de indeling wordt ontwikkeld. Het classificatiesysteem voor klei- en leemgronden is nog in ontwikkeling (*Jager en Boersma*, 1978a, 1978b en 1980).

Porositeit

Beschrijving van de bodemstructuur houdt tevens een beschrijving van de porositeit in. Naar de grootte worden de poriën onderverdeeld in micro-, meso- en macroporiën (tabel 2.4.10).

Tabel 2.4.10. Indeling en benaming van poriëndiameterklassen, de overeenkomende drukhoogtes en pF-waarden.

Benaming	Diameter (μm)	Overeenkomstig met h (cm)	pF log($-h$)
microporiën	< 0,2	< -16.000	> 4,2
	0,2 - 30	-16.000 tot - 100	4,2 - 2,0
mesoporen	30 - 100	- 100 tot - 30	2,0 - 1,5
macroporiën	100 - 200	- 30 tot - 15	1,5 - 1,2
	> 200	> - 15	< 1,2

Bij de beschrijving van de porositeit wordt de volgende indeling gehanteerd:

Zwak poreus: volumefractie macroporiën (en eventueel mesoporiën) <0,01;

- a. zwak macroporeus: glad microreliëf, er zijn geen of vrijwel geen mesoporiën;
- b. zwak heterogeen poreus: ruw microreliëf, er zijn zowel macro- als mesoporiën.

Matig poreus: volumefractie macroporiën (en eventueel mesoporiën) 0,01-0,05;

- c. matig macroporeus: glad microreliëf, er zijn geen of vrijwel geen mesoporiën;
- d. matig heterogeen poreus: ruw microreliëf, er zijn zowel macro- als mesoporiën.

Sterk poreus: volumefractie poriën >0,05;

- e. sterk heterogeen poreus: ruw microreliëf, naast macroporiën komen ook veel mesoporiën voor.

De landbouwkundige waardering

Met een goed inzicht in de bodemstructuur is het mogelijk schattingen te doen over de doorlatendheid, de bewortelbaarheid, de bewerkbaar- en berijdbaarheid.

Ook is het mogelijk gegevens te verzamelen over de invloed van verschillende grondbewerkingsmethoden op de bodemstructuur. Zo zijn vorm, afmeting en porositeit van de structuurelementen, alsmede pakking van zand en de sedimentaire gelaagdheid sterk bepalend voor de landbouwkundige waardering van een grond (tabel 2.4.11).

Tabel 2.4.11. Landbouwkundige waardering van een grond.

Kenmerk	Gunstig	Ongunstig
vorm	granulair afgerond-blokkig	scherp-blokkig prismatisch
samenstelling	samengesteld	enkelvoudig
afmeting	klein	groot
porositeit	matig en sterk heterogeen poreus	zwak poreus
structuurgraad	hoog en laag	laag en hoog
pakking zand	open	dicht
gelaagdheid	dunne laagjes met weinig contrast, diep beginnend, sterk verstoord	dikke laagjes met groot contrast ondiep beginnend, weinig verstoord

2.5. Bodemclassificatie en legenda

Teneinde tot een uniforme legenda voor de bodemkaart schaal 1:50.000 te komen, was het vóór alles nodig gelijk opgebouwde bodemprofielen overal op dezelfde wijze te determineren en te benoemen. Als eerste stap is een systeem van bodemclassificatie ontwikkeld. Daarbij heeft het idee vooropgestaan, dat de begrippen moeten worden gedefinieerd met behulp van meetbare kenmerken van het bodemprofiel. Het systeem is dus morfometrisch (*De Bakker en Schelling, 1966*). Het systeem van bodemclassificatie vormt de basis voor de legenda van de Bodemkaart van Nederland, schaal 1:50.000. De legenda is echter geen systematische determinatie van bodemprofielen, maar een indeling van op een kaart afgebeelde vlakken. De legenda moet dan ook aan andere eisen voldoen dan de eenheden van het systeem van bodemclassificatie. Deze eisen hangen alle samen met het bovengenoemde verschil in benadering, namelijk punten versus vlakken.

- a. De legenda moet zodanig zijn, dat de onderscheiden eenheden in het terrein bij de gegeven waarnemingsdichtheid redelijk kunnen worden begreepd.
- b. De onderscheiden vlakken in het terrein moeten een zodanig afmeting hebben, dat ze op de betrokken kaartschaal redelijk kunnen worden voorgesteld.

Beide eisen, die eigenlijk identiek zijn, houden in dat de legenda niet principieel gebonden is aan een bepaald niveau van indeling uit de bodemclassificatie.

De hoofdindeling van de enkelvoudige legenda-eenheden op de Bodemkaart van Nederland, schaal 1:50.000 is in hoofdlijnen een indeling naar de grondsoort (tabel 2.5.1). Daarmee sluit deze aan bij de Nederlandse traditie, waarmee men van oudsher vertrouwd is door schoolkaarten en atlassen. Dergelijke indelingen zijn ook gebruikt bij eerder verschenen bodemkaarten van Nederland, onder andere op de schalen 1:400.000 (1950) en 1:200.000 (1960). In een aantal gevallen wordt de indeling naar grondsoort gecamoufléerd, doordat in de naam van de hoofdklasse de naam van de grondsoort ontbreekt. Dit is het geval bij de gronden die naar hun bodemvorming zijn onderscheiden (moderpodzolgronden, humuspodzolgronden, brikgronden, dikke eerdgronden, niet-gerijpte minerale gronden). De grondsoort komt dan op het volgende niveau aan de orde.

Op de onlangs (1985) verschenen Bodemkaart van Nederland, schaal 1:250.000 is de indeling naar grondsoorten wel consequent als hoofdindeling toegepast. Daar vallen nu de podzolgronden onder de zandgronden, de brikgronden zowel onder de oude (rivier)kleigronden als onder de leemgronden. De indeling wijkt dus duidelijk af van de ordening in het systeem van bodemclassificatie. Daarin worden de voornaamste bodemvormende processen gebruikt als indelingscriteria op het hoogste niveau (de orden). Dit orde-niveau is voor de meeste hoofdklassen van de legenda de eerste onderverdeling (tabel 2.5.1). De verdere onderverdeling van de enkelvoudige legenda-eenheden sluit veelal nauw aan bij die van het systeem van bodemclassificatie tot en met het niveau van de subgroep. Dit niveau is in de legenda naamgevend en kleurbepalend. De subgroepen worden in de legenda nader onderverdeeld naar onder andere veensoort, textuur van de bovengrond, profielverloop en kalkverloop (tabellen 2.5.2 t/m 2.5.14).

Tabel 2.5.1. Grondsoort, hoofdindeling van de legenda en verband legenda-bodemclassificatie.

Grondsoort	Hoofdklasse van de legenda met code op de bodemkaart ¹		Verdere onder-verdeling ²	Orde in het Systeem van Bodem-classificatie
organische gronden	veen	veengronden, V	- eerdveengronden - rauwe veengronden	veengronden
		moerige gronden, W	- moerige podzolgronden - moerige eerdgronden	podzolgronden eerdgronden
	zand	moderpodzolgronden, Y ³ humuspodzolgronden, H ³		podzolgronden
		kalkloze zandgronden, Z	- eerdgronden - vaaggronden	eerdgronden vaaggronden
		kalkhoudende zandgronden, Z...A	- eerdgronden - vaaggrond	eerdgronden vaaggronden
		bijzondere lutumarme gronden, S	- vaaggronden	vaaggronden
	zavel en klei (marien en fluviaal)	niet-gerijpte minerale gronden, O ³	- zeeklei - rivierklei	vaaggronden
		zeekleigronden, M	- eerdgronden - vaaggronden	eerdgronden vaaggronden
		rivierkleigronden, R	- eerdgronden - vaaggronden	eerdgronden vaaggronden
		oude rivierkleigronden, KR-	eerdgronden - vaaggronden	eerdgronden vaaggronden
		overige oude kleigronden, o.a. KX	- geen	-
		leem (eolisch)	- eerdgronden - vaaggronden	eerdgronden vaaggronden
minerale gronden	zand, zavel, klei en leem (fluviaal en eolisch)	brikgronden, B ³	- oude kleibrikgronden - leembrinkgronden - zandbrikgronden	brikgronden
		dikke eerdgronden, E ³	- dikke zandeerdgronden - dikke kleieerdgronden - dikke leemeerdgronden	eerdgronden

¹ In de legenda's bij de bodemkaarten is de volgorde van de hoofdklassen anders dan in deze tabel: de brikgronden (B) en de dikke eerdgronden (E) volgen daar na de humuspodzolgronden (H).

² Boven het niveau van de subgroepen uit het Systeem van de bodemclassificatie.

³ Hoofdklasse, waarin de bodemvorming indelingscriterium is; deels is tevens de grondsoort bepalend (Y en H = zand; O = zavel en klei) of is de indeling naar grondsoort op het volgende niveau gemaakt (B en E).

Tabel 2.5.2. Indeling, benaming en codering van de veengronden.

aard code	Bovengrond		Veensoort						Ondergrond	
	Samenstelling en dikte		boven- euroof brook- veen b	veen- moaven s	zeggeveen, rietzeg- veen, moefroof brookveen c	rietveen, zeggeriet- veen e	bagger, verlagen veen, gyttje, andere veensoorten d	zavel of klei k	zand z	zand zonder humus- podzol z
met moerige aardlaag EERDVEENGRONDEN	kleilig (> 10% lutum op de grond) 15-50 cm dik KOOPVEENGRONDEN	hV.	hVb	hVs	hVc	hVr	hVd	hVk	hVz	
	kleilig (> 10% lutum op de grond) > 50 cm dik AARVEENGRONDEN	hEV	geen verdere indeling							
	kleiern (< 10% lutum op de grond) 15-50 cm dik MADEVEENGRONDEN	aV.		aVs	aVc					aVz
	kleiern (< 10% lutum op de grond) > 50 cm dik BOVEENGRONDEN	aEV.		aEVs ¹⁾	aEVc ¹⁾					
	met niet-gerijpt materiaal binnen 20 cm VLIETVEENGRONDEN	Vo	geen verdere indeling							
zonder moerige aardlaag RAUWVEENGRONDEN	met zavel- of kleidek, waarin minerale aardlaag of humusrijke bovengrond > 15 cm WEIDEVEENGRONDEN	pV	pVb	pVs	pVc	pVr	pVd	pVk	pVz	
	met zavel- of kleidek zonder minerale aardlaag en/of humusrijke bovengrond < 15 cm WAARDVEENGRONDEN	kV.	kVb	kVs	kVc	kVr	kVd	kVk	kVz	
	met zanddek of of niet met minerale aardlaag MEERVEENGRONDEN	zV.		zVs	zVc					zVz
	zonder zavel-, klei- of zanddek VLIERVEENGRONDEN	V.	Vb	Vs	Vc	Vr	Vd	Vk		Vz
	met humeus zanddek of moerige bovengrond, 10-20 cm dik VEENGRONDEN met veenkoloniaal dek	IV.		IVs	IVc					IVz

1) Al dan niet op zand binnen 120 cm.

Tabel 2.5.3. Indeling, benaming en codering van de moerige gronden.

Aard van de ondergrond		Aard van de bovengrond	
		zavel- of kleidek	kWp
zand met duidelijke humuspodzol - B		zanddek waarin minerale eerdlaag	zWp
MOERIGE PODZOLGRONDEN	. Wp	moerige bovengrond	vWp
		veenkoloniaal dek	iWp
		zavel- of kleidek	kWz
zand zonder duidelijke humuspodzol - B		zanddek	zWz
MOERIGE EERDGRONDEN	. Wz	moerige bovengrond	vWz
		veenkoloniaal dek	iWz
niet-gerijpte zavel of klei		geen indeling (meestal moerig)	Wo
PLASEERDGRONDEN	Wo		
gerijpte zavel of klei		geen indeling (meestal moerig)	Wg
BROEKEERDGRONDEN	Wg		

Tabel 2.5.4. Indeling, benaming en codering van de kalkhoudende zandgronden.

Aard van de bovengrond	Hydromorfe kenmerken	Grofheid van het zand (M50 in µm)				
		uiterst fijn	zeer fijn	matig fijn	fijn	grof
		(< 105) 1.	(105 - 150) 4.	(150 - 210) 5.	(< 210) 2.	(> 210) 3.
code →						
met minerale eerdlaag	zonder ijzerhuidjes; roest beginnend binnen 35 cm en doorlopend tot 120 cm of tot de G-horizont				pZg20A	
EERDGRONDEN	BEEKEERDGRONDEN					
	pZg..A					
	zonder ijzerhuidjes	Zn10A	Zn40A	Zn50A		Zn30A
	VLAKVAAGGRONDEN	1)				
	Zn..A					
zonder minerale eerdlaag	met ijzerhuidjes; zonder bruine laag in de positie van een B-horizont				Zd20A	Zd30A
VAAGGRONDEN	DUINVAAGGRONDEN					
	Zd..A					
	met ijzerhuidjes; met bruine laag in de positie van een B-horizont				Zb20A	Zb30A
	VDRSTVAAGGRONDEN					
	Zb..A					

1) Tevens 0 - 5% lutum

Tabel 2.5.5. Indeling, benaming en codering van de kalkloze zandgronden.

Aard van de bovengrond	Hydromorfe kenmerken	Dikte van de minerale eerdlaag	Grootte van het zand (M50)		Leemgehalte (% < 10 µm)	
			fijn (< 210 µm) 2.	grof (> 210 µm) 3.	leemarm en zwak leemig (0 - 17,5) 1.	leemig (10 - 17,5) 2.
met minerale eerdlaag EERDGRONDEN	code 1) → zonder ijzerhuidjes	15 - 50 cm				
	pZ.. bij bruine minerale eerdlaag: geen indeling naar roest bij zwarte minerale eerdlaag: roest beginnend binnen 35 cm en doorlopend tot 120 cm of tot de G-horizont en hoogstens over 30 cm onderbroken	BEEKEERDGRONDEN	pZg..	pZg2.	pZg21	pZg22
	zonder ijzerhuidjes	15 - 50 cm				
	geen roest, of roest beginnend dieper dan 35 cm, of roest beginnend ondieper dan 35 cm en over meer dan 30 cm onderbroken	GOOREERDGRONDEN	pZn..	pZn2.	pZn21	pZn22
zonder minerale eerdlaag VAAGGRONDEN	met ijzerhuidjes	dun: 15 - 30 cm				
	Z... VLAKEERDGRONDEN	KANTEERDGRONDEN	tZd..	tZd2.	tZd21	tZd22
	met ijzerhuidjes; zonder bruine laag in de positie van een B-horizont	metig dik: 30 - 50 cm				
	DUINVAAGGRONDEN	AKKEREERDGRONDEN	cZd..	cZd2.	cZd21	cZd22
	met ijzerhuidjes; met bruine laag in de positie van een B-horizont					
	VORSTVAAGGRONDEN					
	Zb..					

1) De kalkcode C (= kalkloos) is korthedshalve in de code weggelaten.

Tabel 2.5.6. Indeling, benaming en codering van de podzolgronden.

Aard van de humus in de duidelijke podzol-B code	Hydromorfe kenmerken	Dikte van de humushoudende bovengrond	Voorkomen van een banden-B in de ondergrond	Grofheid van het zand (M50)		Leemgehalte van het zand (% < 50 µm)		
				fijn (< 210 µm) 2.	grof (> 210 µm) 3.	leemarm en zwak leemig (0 - 17,5) .1	leemig (10 - 50) .3	geen indeling .0
moder humus MODERPODZOLGRONDEN .Y.	niet van toepassing	dun: 0 - 30 cm Y..	zonder banden-B HOLTPODZOLGRONDEN Y..	Y2.	Y3.	Y21	Y23	Y30
			met banden-B HORSTPODZOLGRONDEN Y..b	Y2.b		Y21b	Y23b	
		matig dik: 30 - 50 cm LOOPODZOLGRONDEN cY..	geen indeling	cY2.	cY3.	cY21	cY23	cY30
amorte humus HUMUSPODZOLGRONDEN .H..	zonder ijzerhuidjes .Hn..	dun: 0 - 30 cm VELOPODZOLGRONDEN Hn..		Hn2.	Hn3.	Hn21	Hn23	Hn30
		matig dik: 30 - 50 cm LAARPODZOLGRONDEN cHn..		cHn2.	cHn3.	cHn21	cHn23	cHn30
	met ijzerhuidjes .Hd..	dun: 0 - 30 cm HAARPODZOLGRONDEN Hd..		Hd2.	Hd3.	Hd21	Hd23	Hd30
		matig dik: 30 - 50 cm KAMPPODZOLGRONDEN cHd..		cHd2.	cHd3.	cHd21	cHd23	cHd30

Tabel 2.5.7. Indeling, benaming en codering van de dikke eerdgronden.

Aard van het moedermateriaal	Ligging t.o.v. het grondwater	Kleur van de aardlaag	Grootheid van het zand (M50)		Leemgehalte van het zand (% < 50 µm)			Bouwvoorwaarden (% < 2 µm) (% < 50 µm)			
			fijn (< 210 µm)	grof (≥ 210 µm)	leemarm en zwak leemig (0 - 17,5)	leemig (10 - 50)	geen indeling	lichte zavel (8 - 17,5)	zware zavel en klei (> 17,5)	zandige leem (50 - 85)	met laag onder
(code) →			2.	3.	1	3	0	1.	7.	5	
zand ENKEERD- GRONDEN .EZ..	laag Gt III en lager LAGE ENKEERD- GRONDEN EZg..	geen indeling	EZg2.	EZg3.	EZg21	EZg23	EZg30				
	hoog Gt IV en hoger HOGE ENKEERD- GRONDEN .EZ..	zwart HOGE ZWARTE ENKEERD- GRONDEN zEZ..	zEZ2.	zEZ3.	zEZ21	zEZ23	zEZ30				
		bruin HOGE BRUINE ENKEERDGRONDEN bEZ..	bEZ2.	bEZ3.	bEZ21	bEZ23	bEZ30				
leem TUINEERD- GRONDEN EL	geen indeling	geen indeling								EL5	
zavel en klei TUINEERD- GRONDEN EK..	geen indeling	geen indeling						EK1.	EK7.		EK

1) De kalkhoudende enkeerdgronden (EZ...A), die alleen in de bloembollenstreek voorkomen, zijn korthedshalve weggelaten.

Tabel 2.5.8. Indeling, benaming en codering van de zeekleigronden. (vaaggronden)

Hydromorfe kenmerken	Aard van de klei	Kalkverloop		Bouwvoorwaarte (% < 2 µm)								Profielverloop				
		kalkrijk	kalkarm	lichte zavel (8-17,5)	zware zavel (17,5-25)	lichte klei (25-35)	zware klei (>35)	zavel (8-25)	lichte klei (8-35)	klei (>25)	geen indeling	met zware tussenlaag	met zware ondergrond	met zware laag of ondergrond		
	code →	A	C	1.	2.	3.	4.	5.	6.	8.	.0	op veen .1	op zand .2	.3	.8	.6
moerig materiaal beginnend tussen 40 en 80 cm	geen indeling	Mv..A						Mv5.A		Mv6.A		Mv61A Mv61A Mv61C Mv41C				
DRECHTVAAGGRONDEN	Mv..		Mv..C				Mv4.C		Mv6.C							
niet-gerijpte minerale ondergrond	geen indeling	Mo..A		Mo1.A							Mo10A Mo20A					
NESVAAGGRONDEN	Mo..			Mo2.A							Mo8.A Mo80A Mo50C Mo80C					
			Mo..C					Mo5.C		Mo8.C						
roest en grijze vlekken beginnend binnen 50 cm	normaal Mn..	Mn..A		Mn1.A	Mn2.A	Mn3.A						Mn12A Mn22A				
POLDERVAAGGRONDEN	Mn..						Mn4.A									
								Mn5.A								Mn56A Mn86A
			Mn..C	Mn1.C	Mn2.C			Mn5.C		Mn8.A		Mn82A				
										Mn8.C						Mn56C Mn86C
	knippig gMn..		gMn..C	gMn1.C	gMn2.C			gMn5.C								
										gMn8.C		gMn52C gMn82C	gMn53C gMn83C	gMn58C gMn88C		
	knip kMn..		kMn..C				kMn4.C		kMn6.C			kMn43C kMn63C	kMn48C kMn68C			

Gronden, waarvan het moedermateriaal in *zoet* milieu is afgezet, zijn op bodemkaarten van na 1981 aangegeven met de code eM...; het *zoete* getijdengebied is bovendien omgeven met een band van blauwe stippen.

Tabel 2.5.9. Indeling, benaming en codering van de zeekleigronden. (eerdgronden)

Hydromorfe kenmerken	code →	Kalkverloop			Bouwvoorwaarde (% < 2 µm)		Profielverloop		
		geen indeling	kalkrijk (a,a+b)	kalkarm (b,b+c,c)	zavel (8-25)	klei (> 25)	geen indeling	op veen	op zand of onder
			A	C	5.	8.	.0	.1	.2
moerig materiaal beginnend tussen 40 en 80 cm		pMv..			pMv5.			pMv51	
LIEDEERDGRONDEN	pMv..					pMv8.		pMv81	
niet-gerijpte minerale ondergrond		pMo..			pMo5.		pMo50		
TOCHTEERDGRONDEN	pMo..					pMo8.	pMo80		
roest en grijze vlekken beginnend binnen 50 cm			pMn..A		pMn5.A			pMn52A	
LEEK-/WOUDEERDGRONDEN	pMn..					pMn8. A		pMn82A	
				pMn..C	pMn5.C			pMn52C	pMn50
						pMn8.C		pMn82C	pMn80

Gronden, waarvan het moedermateriaal in zoet milieu is afgezet, zijn op bodemkaarten van na 1981 aangegeven met de code epM...; het zoete getijdengebied is bovendien omgeven met een band van

Tabel 2.5.10. Indeling, benaming en codering van de rivierkleigronden. (vaaggronden)

Hydromorfe kenmerken		Kalkverloop			Bouwvoorwaarts (% < 2 µm)						Profielverloop					
		kalkhoudend	kalkloos	geen indeling	lichte zavel (0 - 17,5)	zware klei (> 35)	zavel (8 - 25)	zavel en lichte klei (8 - 35)	klei (> 25)	zware zavel en lichte klei (17,5 - 35)	geen indeling	op veen	op zand	met zware ondergrond	met zware laag of ondergrond	met zware laag, soms zware ondergrond
code		A	C	0.	1.	4.	5.	6.	8.	9.	0.	.1	.2	.4	.6	.7
moerig materiaal beginnend tussen 40 en 80 cm	Rv..A			Rv0.A								Rv01A				
DRECHTVAAGGRONDEN	Rv..		Rv..C	Rv0.C								Rv01C				
niet-gerijpte minerale ondergrond	Ro..A					Ro4.A		Ro6.A			Ro80A Ro40A					
NESVAAGGRONDEN	Ro..		Ro..C			Ro4.C		Ro6.C			Ro80C Ro40C					
					Rn1.A											
	Rn..A					Rn4.A	Rn5.A	Rn6.A	Rn8.A			Rn52A Rn82A			Rn48A Rn88A	
roest en grijze vlekken beginnend binnen 50 cm										Rn9.A						
POLDERVAAGGRONDEN	Rn..				Rn1.C	Rn4.C		Rn6.C		Rn9.C			Rn42C Rn62C	Rn14C Rn44C Rn94C	bRn46C 1)	Rn47C Rn67C
			Rn..C													
	Rd..A				Rd1.A	Rd4.A					Rd10A Rd40A Rd90A					
geen roest en geen grijze vlekken binnen 50 cm										Rd9.A						
OOIVAAGGRONDEN	Rd..				Rd1.C	Rd4.C					Rd10C Rd40C Rd90C					
			Rd..C							Rd9.C						

1) Bruine laag.

1) Brui

Tabel 2.5.11. Indeling, benaming en codering van de rivierkleigronden. (eerdgronden)

Hydromorfe kenmerken	code →	Bouwvoorwaarte (% < 2 µm)		Profielverloop		
		zavel (8 - 25)	klei (> 25)	op veen	met zware laag of ondergrond	op zand en aflopend
moerig materiaal beginnend tussen 40 en 80 cm		pRv5.		pRv51		
LIEDEERDGRONDEN	pRv..		pRv8.	pRv81		
roest en grijze vlekken beginnend binnen 50 cm		pRn5.			pRn56	pRn59
LEEK-/WOUDEERDGRONDEN	pRn..		pRn8.		pRn86	pRn89

Tabel 2.5.12. Indeling, benaming en codering van de niet-gerijpte minerale gronden.

Rijpingstoestand van de bovenste 20 cm	code →	Bouwvoorwaarte (% < 2 µm)			Profielopbouw	
		geen indeling	lichte zavel (8 - 17,5)	zware zavel en klei (> 17,5)	zand beginnend binnen 80 cm	geen zand binnen 80 cm
geheel of bijna ongerijpt		0.	1.	7.	.2	.5
SLIKVAAGGRONDEN	MOo.. 1) ROo..	MOo0. ROo0.			MOo02 ROo02	MOo05 ROo05
half of bijna gerijpt			MOb1.	MOb7.	MOb12 MOb72	MOb15 MOb75
GORSVAAGGRONDEN	MOb.. 1) ROb..		ROb1.	ROb7.	ROb12 ROb72	ROb15 ROb75

1) M = moedermateriaal zeeklei, R = moedermateriaal rivierklei.

Gronden, waarvan het moedermateriaal in *zoet* milieu is afgezet, zijn op bodemkaarten van na 1981 aangegeven met de code *e*MO; het *zoete* getijdengebied is bovendien omgeven met een band van blauwe stippen.

Tabel 2.5.13. Indeling, benaming en codering van de oude rivierkleigronden.

Aard van de bovengrond	Hydromorfe kenmerken	Bouwvoorwaarte (% < 2 µm)			
		lichte zavel	zware zavel	zware zavel en klei	klei
		(8 - 17,5)	(17,5 - 25)	(> 17,5)	(> 25)
code 1) →		1	2	7	8
met minerale eerdlaag EERDGRONDEN pKR ..	met roest en grijze vlekken beginnend binnen 50 cm LEEK-/WOUDEERDGRONDEN pKRn .	pKRn1	pKRn2		pKRn8
zonder minerale eerdlaag VAAGGRONDEN KR ..	met roest en grijze vlekken beginnend binnen 50 cm POLDERVAAGGRONDEN KRn .	KRn1	KRn2		KRn8
	geen roest en geen grijze vlekken binnen 50 cm OOIVAAGGRONDEN KRd .	KRd1		KRd7	

1) De kalkcode C (= kalkloos) is korthetidshalve weggelaten.

Tabel 2.5.14. Indeling, benaming en codering van de leemgronden.

Aard van de bovengrond	Hydromorfe kenmerken	Leemgehalte (% < 50 µm)	
		zandige leem: 2)	siltige leem
		(50 - 85) 5	(> 85) 6
code 1) →			
met minerale eerdlaag EERDGRONDEN pL..	met roest en grijze vlekken beginnend binnen 50 cm LEEK-/WOUDEERDGRONDEN pLn .	pLn5	pLn6
zonder minerale eerdlaag VAAGGRONDEN L..	met roest en grijze vlekken beginnend binnen 50 cm POLDERVAAGGRONDEN Ln .	Ln5	Ln6
	met roest en grijze vlekken beginnend tussen 50 en 80 cm OOIVAAGGRONDEN Lh .	Lh5	Lh6
	met roest en grijze vlekken beginnend dieper dan 80 cm OOIVAAGGRONDEN Ld .	Ld5	Ld6

1) De kalkcode C (= kalkloos) is korthetidshalve weggelaten.

2) Indien leemgehalte < 50%, dan lutumgehalte > 8%.

2.5.1. Terminologie

A1-horizonten

Moerige eerdlaag	Een moerige A1 dikker dan 15 cm (of een moerige Ap ongeacht de dikte) waarin hoogstens 10 à 15 % van de massa uit planteresten bestaat met een herkenbare weefselopbouw.												
Kleiïge moerige eerdlaag	Een moerige eerdlaag waarin lutum voorkomt.												
Kleiarne moerige eerdlaag	Een moerige eerdlaag waarin geen lutum van betekenis voorkomt.												
Minerale eerdlaag	a. een A1- of Ap-horizont, die over een diepte van ten minste 15 cm humusrijk is; of b. een A1- of Ap-horizont die over een diepte van ten minste 15 cm matig humusarm of humeus is en tevens voldoet aan de volgende kleureisen: value <3,5 en ten minste één value-eenheid donkerder dan de C-horizont; of c. een dikke niet-moerige A1-horizont.												
Dikke A1	Een niet-vergraven A1-horizont die dikker dan 50 cm is.												
Matige dikke A1	Een niet-vergraven A1-horizont die 30-50 cm dik is.												
Dunne A1	Een niet-vergraven A1-horizont die dunner dan 30 cm is, of een vergraven bovengrond, ongeacht de dikte.												
Bruine minerale eerdlaag	(Wordt alleen onderscheiden bij de enkeerdgronden en bij de hydrozandeerdgronden): Een minerale eerdlaag waarin binnen 25 cm diepte een laag van minstens 10 cm dikte begint, die aan één der in de tabel genoemde kleureisen voldoet (Munsell Soil Color Charts): <table><tr><td>Hue</td><td>10YR</td><td>7,5YR</td><td>5YR</td></tr><tr><td>Som value en chroma</td><td>>4,5</td><td>>4,5</td><td>>4</td></tr><tr><td>Chroma</td><td>>1</td><td>>1</td><td>>1</td></tr></table>	Hue	10YR	7,5YR	5YR	Som value en chroma	>4,5	>4,5	>4	Chroma	>1	>1	>1
Hue	10YR	7,5YR	5YR										
Som value en chroma	>4,5	>4,5	>4										
Chroma	>1	>1	>1										
Zwarte minerale eerdlaag	(Wordt alleen onderscheiden bij de enkeerdgronden en bij de hydrozandeerdgronden): Een minerale eerdlaag die niet aan de criteria voor de bruine voldoet.												

Andere bovengronden

Kleidek	Een minerale bovengrond die meer dan 8 % lutum of meer dan 50 % leemfractie bevat (ook na eventueel ploegen tot 20 cm) en binnen 40 cm diepte ligt op moerig materiaal, op een podzolgrond of op een zandlaag die dikker is dan 40 cm.
Zanddek	Een minerale bovengrond die minder dan 8 % lutum en minder dan 50 % leemfractie bevat (ook na eventueel ploegen tot 20 cm) en binnen 40 cm diepte ligt op moerig materiaal, op een podzolgrond of op een kleilaag die dikker is dan 40 cm.
Zandbovengrond	Een uitsluitend in brikgronden voorkomende bovengrond, die tot een grotere diepte dan 20 cm uit zand bestaat.
Moerige bovengrond	Een bovengrond die moerig is (ook na eventueel ploegen tot 20 cm diepte) en binnen 40 cm diepte op een minerale ondergrond ligt.
Moerige tussenlaag	Een laag die moerig, dikker dan 5 à 15 cm en dunner dan 40 cm is en onder een kleidek of een zanddek ligt.

B-horizonten

Duidelijke moerige B-horizont	Een in moerig materiaal voorkomende, continue B-horizont, waarvan het ingespoelde deel vrijwel uitsluitend uit amorfe humus bestaat, die binnen 1,20 m minstens 5 cm dik is.
Podzol-B	Een B-horizont (inspoelingshorizont) in minerale gronden, waarvan het ingespoelde deel vrijwel uitsluitend uit amorfe humus of uit amorfe humus en sesquioxyden bestaat, of uit sesquioxyden te zamen met niet-amorfe humus.
Duidelijk podzol-B	Een podzol-B die beneden 20 cm diepte: • een minstens 3 cm dikke B2h heeft met een value ≤ 2 en een chroma $\leq 1,5$; en/of • een B2 heeft die bij de in de tabel genoemde dikten de bijbehorende value-verschillen heeft tussen de B2 en de C;

Dikte	Value-verschil	Dikte	Value-verschil
0 - 5 cm	≥ 3	20 - 30 cm	$\geq 1,5$
5 -20 cm	≥ 2	> 30 cm	≥ 1

of

- . een dieper dan 1,20 m doorgaande B-horizont heeft met een value $<5,5$; of
- . vergraven is en waarin de brokken B2 meer dan 1,5 eenheid in value verschillen met de C-horizont.

Duidelijke
humuspodzol-
B-horizont

Een duidelijke podzol-B-horizont waarin beneden 20 diepte:

- . een B2h voorkomt; of
- . de bovenste 5 à 10 cm (of meer) amorf humus bevat, die als disperse humus is verplaatst.

Deze differentiërende horizont kan zowel enig ijzer bevatten als praktisch ijzerloos zijn.

Duidelijke
moderpodzol-
B-horizont

Een duidelijke podzol-B-horizont waarin beneden 20 cm diepte:

- . geen B2h voorkomt; en
- . de humus in niet-amorfe vorm wordt aangetroffen en wel overwegend als moder; amorf humus mag slechts voorkomen in de bovenste 5 à 10 cm.

Deze differentiërende horizont moet steeds duidelijk ijzer bevatten, dat als huidjes om de zandkorrels voorkomt of samen met fijne minerale delen tussen de zandkorrels ligt.

Banden-B

Een serie oranjebruine tot geelbruine banden met ingespoeld ijzer en lutum, waarvan de bovenste binnen 1,20 m diepte ligt en 5-15 cm dik is. De banden hebben een massieve structuur en bevatten minstens 3% lutum (of lutum + ijzer) meer dan het tussenliggende C-materiaal.

Briklaag

Een textuur-B die:

- . ten minste 15 cm dik is;
- . in het zwaarste gedeelte (de B2t) tenminste 10% lutum bevat;
- . inspoelingshuidjes van lutum (en ijzer) op de meeste wanden van de structuurelementen en van de poriën heeft.

De briklaag heeft een blokkige structuur. Bovendien is zij donkerder van kleur en heeft zij een vastere consistentie dan de A- en de C-horizont.

Overige kenmerken

Vergraven gronden

Gronden waarin een vergraven laag voorkomt, die tussen 0 en 40 cm begint, tot grotere diepte dan 40 cm doorloopt en dikker is dan 20 cm.

- Hydromorfe kenmerken
- a. Voor de *podzolgronden*:
 - . een moerige bovengrond, of
 - . een moerige tussenlaag, en/of
 - . geen ijzerhuidjes op de zandkorrels direct onder de B2
 - b. Voor de *brikgronden*:
 - in een grijze A2 en in de B2 komen roestvlekken en mangaanconcreties voor.
 - c. Voor de *eerdgronden* en de *vaaggronden*:
 - . een G-horizont binnen 80 cm diepte beginnend, en/of
 - . een niet-gerijpte ondergrond, en/of
 - . een moerige bovengrond, en/of
 - . een moerige laag binnen 80 cm diepte beginnend,
 - . bij zandgronden met een A1 dunner dan 50 cm geen ijzerhuidjes op de zandkorrels onder de A-horizont,
 - . bij kleigronden met een A1 dunner dan 50 cm: roestvlekken, beginnend binnen 50 cm diepte, in een hoofdkleur met chroma 2 of kleiner; of andere (grijze) vlekken, bv. reductievlekken, die ten minste 2,5 eenheden in hue geel en/of één eenheid in chroma lager zijn dan de hoofdkleur.

Rijpsingsklassen

Klassebenaming	Consistentie
geheel ongerijpt	zeer slap; loopt tussen de vingers door
bijna ongerijpt	slap; loopt bij knijpen zeer gemakkelijk tussen de vingers door
half gerijpt	matig slap; loopt bij knijpen nog goed tussen de vingers door
bijna gerijpt	matig stevig; is met stevig knijpen nog juist tussen de vingers door te krijgen
gerijpt	stevig; niet tussen de vingers door te krijgen

Niet-gerijpte ondergrond Onder een gerijpte bovengrond dikker dan 20 cm komt een bijna gerijpte laag binnen 50 cm diepte voor en/of een half of een nog minder gerijpte laag binnen 80 cm diepte.

Zandgronden Minerale gronden waarvan het niet-moerige gedeelte tussen 0 en 80 cm diepte voor meer dan de helft van de dikte uit zand bestaat, indien een dikke A1 voorkomt, moet deze gemiddeld uit zand bestaan.

Kleigronden Minerale gronden waarvan het niet-moerige deel tussen 0 en 80 cm diepte voor minder dan de helft van de dikte uit zand bestaat; indien een dikke A1 voorkomt, moet deze gemiddeld zwaarder zijn dan de textuurklasse zand.

2.6. Geologische indelingen (naar gegevens van RGD).

2.6.1. Algemene geologische tijdtabel.

Miljoen jaar	Hoofdtijdperk	Periode	Tijdvak		Formatie
2	KENO-ZOICUM	KWARTAIR	HOLOCEEN		} zie tabel 2.6.2
			PLEISTOCEN		
		TERTIAIR	PLIOCEN		
			MIOCEEN		
			OLIGOCEEN		
			EOCEEN		
			PALEOCEEN		
			67	MESOZOICUM		KRIJT	BOVEN KRIJT		} SENO-ZOICUM Formatie van Maastricht Formatie van Gulpen Formatie van Vaals Formatie van Aken
ONDER KRIJT					
JURA	BOVEN JURA	MALM			
	MIDDEN JURA	DOGGER			
	ONDER JURA	LIAS			
TRIAS	BOVEN TRIAS				
	KEUPER				
	MIDDEN TRIAS MUSCHELKALK				
	ONDER TRIAS BONTZANDSTEEN				
PERM	BOVEN PERM ZECHSTEIN				
	ONDER PERM ROTLIEGEND				
230	PALEOZOICUM	CARBOON	BOVEN CARBOON		
			ONDER CARBOON		
		DEVOON			
		SILUUR			
		ORDOVICIUM			
		CAMBRIUM			
		285			
		350			
		405			
440					
500					
570	PRECAMBRIUM				

2.6.2. Indeling en formaties uit het Kwartair.

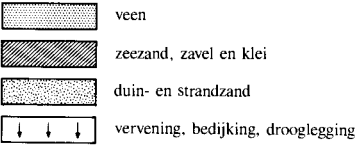
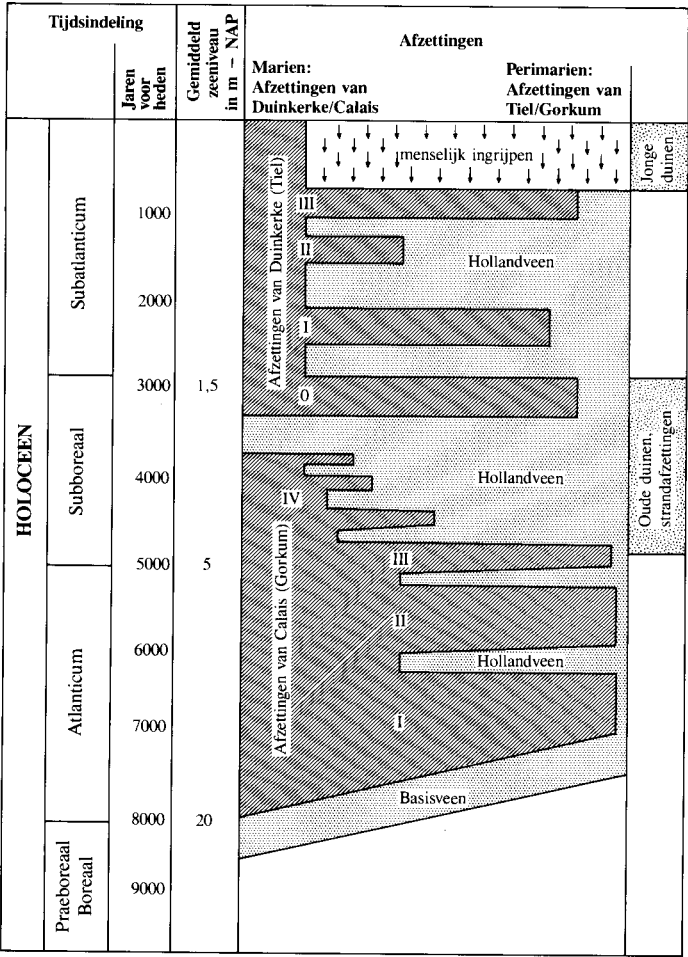
Tijdsindeling				Afzettingen in verband met landijs		Afzettingen van lokale herkomst		Afzettingen van grote rivieren		Afzettingen in zee en bij de kust	
KWARTAIR	HOLOCEEN			N	Z	N	Z	N	Z	N	Z
	PLEISTOCEN	Boven	Weichselien*			Formatie van Kootwijk E Formatie van Singraven B Formatie van Griendtsveen V		Betuwe Formatie R + M		Westland Formatie zie tabel 2.6.3	
			Eemien			Formatie van Twente E + V + P + B		Formatie van Kreftenheye R + M			
		Midden	Saalien*			Formatie van Asten V				Eem Formatie	
			Holsteinien			Formatie van Drenthe					
			Elsterien*			Formatie van Eindhoven E + P B + V		Formatie van Urk R	Formatie van Veghel M	***	
			Cromerien complex**			Formatie van Peelo				***	
		Onder	Menapien*								
			Waalien			Formatie van Kedichem (ten dele) B + P + V		Formatie van Enschede O	Formatie van Sterksel R + M		
			Eburonien*					Formatie van Harderwijk O	Formatie van Kedichem R + M		
			Tiglien						Formatie van Tegelen R + M		
			Prætiglien*							Formatie van Maassluis	

N = Noord Nederland
E = eolische afzettingen
P = periglaciaal afzettingen
B = beekafzettingen
V = veen

Z = Zuid Nederland
R = Rijn
M = Maas
O = oostelijke noordduitse rivieren
en voorlopers

* koude tijd
** complexe eenheid bestaande uit ten minste
4 warme en 3 koude tijden
*** nog onbenoemd, voorlopig bij Formatie van Urk

2.6.3. Indeling van de Westland Formatie



2.7. Literatuur

- Bakker, H. de, en J. Schelling, 1966
Systeem van bodemclassificatie voor Nederland. PUDOC, Wageningen.
- Bennema, J., en D. van der Woerd, 1954
De veldbodemkundige oorzaken van de verdroging; verbreiding en eigenschappen van de verdroogde gronden. Rp. 476 Stichting voor Bodemkartering, Wageningen.
Ook in: Hooghoudt, S.B., e.a., 1960 :Verdrogende veengronden in West-Nederland. Versl. Landbouwk. Onderz. no. 66-23:p.81-197.
- Breukelen, L.L. van, D.J. Perduijn, A. Pheifer, P.J. Tichelaar, H.J. Timmers en J.H. van der Velden, z.j.
Keramiek. Losbladige cursus. Stichting opleiding keramici, De Steeg.
- Haans, J.C.F.M., 1954
De bodemgesteldheid van de Haarlemmermeer. 's-Gravenhage. Versl. Landbouwk. Onderz. no. 60-7. Serie: De bodemkartering van Nederland, dl. 15 Diss. Wageningen
- Heesen, H.C. van, 1971
De weergave van het grondwaterstandsverloop op bodemkaarten. Boor en Spade 17:p.127-149.
- Hoofdkommissie voor de normalisatie in Nederland, 1939
-Indeeling en benaming van grondmonsters; hoofdindeeling. Normaalblad N 209. Den Haag.
-Indeeling en benaming van grondmonsters; nadere indeeling van zand en grind op grondslag van de korrelgrootte. Normaalblad N 210. Den Haag.
-Indeeling en benaming van grondmonsters; methoden voor onderzoek van zand en grind. Normaalblad N 213, Den Haag.
-Indeeling en benaming van grondmonsters; toelichting bij de normaalbladen N 209, N 210 en N 213, Den Haag.
- Jager, A., en O.H. Boersma, 1978a
Toelichting bij het structuurclassificatiesysteem ten behoeve van de structuurprofielbeschrijving in klei- en leemgronden. Rp. 1414 Stichting voor Bodemkartering, Wageningen.
- Jager, A., en O.H. Boersma, 1978b
Toelichting bij het eerste ontwerp van de structuurprofielclassificatie Rp. 1415 Stichting voor Bodemkartering, Wageningen.
- Jager, A., en O.H. Boersma, 1980
Structuurprofiel-studiekartering nabij Buren. Rp. 1505 Stichting voor Bodemkartering, Wageningen.
- Locher, W.P., en H. de Bakker, 1985
Bodemnatuurkunde. Voorpublicatie uit: Bodemkunde van Nederland, deel 1, Algemene bodemkunde. Stichting voor Bodemkartering, Wageningen.
- Nederlands Normalisatie Instituut, 1974
Voorschriften beton. Normaalblad 3861.
- Reijmerink, A., 1967
Verslag van het in 1963 tot en met 1965 uitgevoerde onderzoek naar de structuurtoestand van weide-, waarde- en drechvaaggronden in de Alblasserwaard. Rp. 728 Stichting voor Bodemkartering, Wageningen.
- Rijks Geologische Dienst, 1977
Classificatie van onverharde sedimenten (beknopte versie). Rijks Geologische Dienst, Haarlem
- Rijkswaterstaat, 1978
Eisen voor bouwstoffen in de wegenbouw. Staatsuitgeverij, Den Haag.
- Ruegg, G.H.J., C.J. van Staalduinen, J.H. Bisschops en H.A. van Adrichem Boogaert, 1974
Classificatie van onverharde sedimenten bij de Rijks Geologische Dienst: doel, richtlijnen, classificatie verantwoording en boorformulier. Rijks Geologische Dienst, Haarlem.
- Schurer, K., en J.C. Rigg, 1980
Grootheden en eenheden in de landbouw en de biologie. PUDOC, Wageningen.
- Sluijs, P. van der, 1982
De grondwatertrap als karakteristiek van het grondwaterstandsverloop. H₂O 15(3):p.42-46

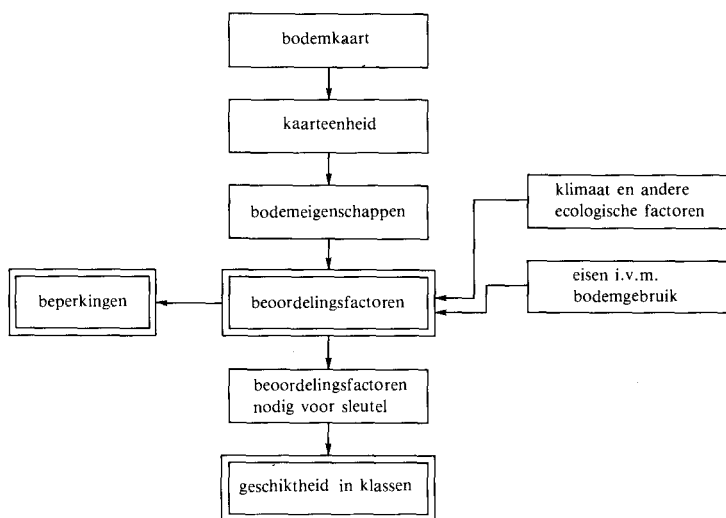
- Sluijs, P. van der, en J.J. de Gruijter, 1985
 Watertable classes: A method to describe seasonal fluctuations and duration of watertables on Dutch soil maps. *Agricultural Water Management* 10(2):p.109-125. Ook: Overdruk no.227 Stichting voor Bodemkartering Wageningen.
- Stichting voor Bodemkartering, 1965
 De bodem van Nederland. Toelichting bij de bodemkaart van Nederland, schaal 1:200.000.
- Stichting voor Bodemkartering, 1982
 Kaartencatalogus van de Stichting voor Bodemkartering. Tweede editie Stichting voor Bodemkartering, 1985. Kaarten van Stiboka.
- Stichting voor Bodemkartering, 1985
 Bodemkaart van Nederland, schaal 1:250.000. Editors G.G.L. Steur, F. de Vries en C. van Wallenburg.
- Stichting voor Bodemkartering
 Serie: Bodemkaart van Nederland, schaal 1:50.000. Bladen 1-62.
- Stichting voor Bodemkartering, 1987
 Bodemkaart van Nederland, schaal 1:50.000. Algemene begrippen en indelingen. 3^e herziene uitgave.
- Stichting voor Bodemkartering, 1988
 Kaartencatalogus van de Stichting voor Bodemkartering. Tweede editie 1982. Aanvulling 1982-1987.
- Visser, R.C., 1976
 Grondbeschrijving. Meded. 17 nr.5. Laboratorium voor Grondmechanica, Delft.
- Wallenburg, C. van, 1973
 Hydromorphic soil characteristics in alluvial soils in connection with soil drainage, Pseudogley and Gley. *Transactions of Commissions V and VI, Int. Soc. Soil Sci.*, Stuttgart, 1971.
- Zuur, A.J., 1947
 Renvoii voor de bodemkundige code- en profielkaarten van de Noordoostpolder, benevens sleutel voor het lezen van de bodemkundige gegevens op code- en profielkaart. Directie van de Wieringermeer, Kampen.

3. Bodemgeschiktheid

(interpretatiesysteem StiBoka)

3.1. Inleiding

Onder de bodemgeschiktheid wordt verstaan de mate waarin de grond, wat zijn eigenschappen betreft, voldoet aan de eisen die men er voor een bepaald bodemgebruik aan stelt. Daartoe zijn eigenschappen van de kaarteenheden zoals organische-stofgehalte, textuur en grondwatertrap gecombineerd met gegevens over het klimaat en andere ecologische factoren en gecombineerd met de eisen ten aanzien van het bodemgebruik. Deze gegevens zijn "vertaald" in informatie over het gedrag en de geschiktheid van de verschillende kaarteenheden (fig. 3.1.1).



Figuur 3.1.1. Schema van de interpretatie-procedure. Dubbele omkadering = "eindprodukt" van de interpretatie.

Aan een bodemgeschiktheidsclassificatie behoort dus een goede beschrijving van het betreffende bodemgebruik vooraf te gaan. Het moet duidelijk zijn onder welke technische, economische en sociale omstandigheden (randvoorwaarden) deze geldt. Bij de bodemgeschiktheidsclassificatie groepeer men de gronden in een beperkt aantal zgn. *geschiktheidsklassen*. Voor elke vorm van bodemgebruik wordt een eigen classificatie opgesteld.

Deze bestaat uit drie *hoofdklassen*, die elk in een klein aantal, gewoonlijk twee tot vier, *middenklassen* worden onderverdeeld (tabel 3.1.1). In de volgorde 1, 2 en 3 geven de hoofdklassen een afnemende geschiktheid aan. De volgorde binnen de middenklasse kan, maar hoeft geen volgorde in geschiktheid aan te geven.

Tabel 3.1.1. Schema van de bodemgeschiktheidsclassificatie voor de verschillende vormen van bodemgebruik.

Hoofdklasse	Middenklasse
1. Gronden met ruime mogelijkheden voor (gebruiksvorm)	1.1. 1.2. 1.3. enz.
2. Gronden met beperkte mogelijkheden voor (gebruiksvorm)	2.1. 2.2. 2.3. enz.
3. Gronden met weinig mogelijkheden voor (gebruiksvorm)	3.1. 3.2. 3.3. enz.

De kaarteenheden van de Bodemkaart van Nederland, schaal 1:50.000 worden doorgaans beoordeeld op hun geschiktheid voor akker-, weide- en bosbouw. Voor kaarteenheden op andere bodemkaarten (meestal op een grotere schaal en voor specifieke doeleinden) wordt ook de geschiktheid voor andere vormen van bodemgebruik beoordeeld zoals de tuinbouw (algemeen), grassportvelden, speel- en ligweiden en kampeerterreinen.

Uitgangspunt voor de geschiktheidsbeoordeling bij de Bodemkaart, schaal 1:50.000, is de enkelvoudige kaarteenheid (bijvoorbeeld Hn21-VI, veldpodzolgrond met grondwatertrap VI). Daarbij vormen de beoordelingsfactoren het belangrijkste instrumentarium.

3.2. Beoordelingsfactoren

Zoals gezegd is het basismateriaal voor de interpretatieprocedure de bodemkaart met de daarop onderscheiden kaarteenheden. Hieraan worden via de legenda en de bij de kaart behorende toelichting gegevens ontleend over de reeds in de inleiding genoemde bodemeigenschappen van de kaarteenheden (onder andere organische-stofgehalte, textuur en grondwatertrap). Vervolgens worden met behulp van deze bodemeigenschappen in de meeste gevallen specifieke, doelgerichte combinaties, de zogenaamde beoordelingsfactoren, afgeleid.

Een beoordelingsfactor is een met de grond samenhangende factor, waarmee een voor het bodemgebruik belangrijk proces, een gedragsaspect van de grond of een groeiplaatsomstandigheid kan worden gekarakteriseerd en het niveau ervan kan worden beschreven.

Aan het gedrag of de groeiplaatsomstandigheid waarop de beoordelingsfactor betrekking heeft, geeft men een waarderingscijfer, *gradatie* genoemd. We kennen beoordelingsfactoren met drie en met vijf gradaties, aangeduid met de cijfers 1 t/m 3 en 1 t/m 5. Gunstige omstandigheden krijgen een laag, ongunstige omstandigheden een hoog cijfer. Bepaalde combinaties van beoordelingsfactoren leiden tot een bepaalde geschiktheidsklasse die men uit de zogenaamde *sleutels* kan aflezen. Voor elke bodemgebruiksvorm is maar een beperkt aantal beoordelingsfactoren bepalend voor de bodemgeschiktheid. In tabel 3.2.1 wordt aangegeven welke dit zijn.

Tabel 3.2.1. De beoordelingsfactoren en het bodemgebruik waarvoor ze al (+) of niet (–) worden toegepast.

Beoordelings- factor	Bodemgebruik						
	akker- bouw	weide- bouw	tuin- bouw	bos- bouw	gras- sport- velden	speel- en lig- weiden	kampeer terreinen
ontwaterings- toestand	+	+	+	+	+	+	+
vochtleverend vermogen	+	+	+	+	+	+	+
verticale waterbeweging	–	–	+	–	–	–	–
infiltratie- capaciteit	–	–	–	–	+	+	+
stevigheid van de bovengrond	+	+	–	–	+	+	+
verkrui- mel- baarheid	+	–	+	–	–	–	–
slempgevoelig- heid	+	–	+	–	–	–	–
stuifgevoelig- heid	+	–	–	–	–	–	–
voedingstoe- stand	–	–	–	+	–	–	–
zuurgraad	–	–	–	+	–	–	–

Uit de tabel blijkt dat sommige beoordelingsfactoren voor de geschiktheidsbeoordeling voor veel vormen van bodemgebruik worden toegepast; dat geldt voor de ontwateringstoestand en het vochtleverend vermogen, terwijl de zuurgraad alleen voor de beoordeling van de grond voor bos wordt gebruikt.

Voorbeelden van beoordelingsfactoren die niet in de sleutels worden gebruikt, zijn *reliëf*, *stenigheid* en *nachtvorstgevoeligheid*. Deze factoren kunnen de geschiktheid naar een wat lager niveau schuiven en daardoor soms van grote betekenis zijn bij de bodemgeschiktheidsbeoordeling.

3.2.1. Ontwateringstoestand

De ontwateringstoestand geeft niet alleen een aanduiding voor de ontwatering, maar ook voor de luchthuishouding van de grond. De ontwateringstoestand geeft daardoor ook informatie over de zuurstofvoorziening van de plantewortels en over de wijzigingen die zich hierin voordoen in de loop van het jaar onder invloed van neerslag, verdamping en afvoer. Het gaat vooral om de bovenste 50 tot 100 cm van de grond waarin zich de meeste plantewortels bevinden en waarin zich het bodemleven afspeelt. Het lucht- (en water-)gehalte van de grond wordt behalve door de poriënfraction (poriënvolum) en de poriëngrootteverdeling in belangrijke mate bepaald door de grondwaterstand. Als richtlijn voor de vaststelling van de gradaties in deze beoordelingsfactor is daarom de gemiddeld hoogste grondwaterstand (GHG) als referentiewaarde genomen. Er worden vijf gradaties onderscheiden (tabel 3.2.2).

Tabel 3.2.2. Gradaties in ontwateringstoestand en de daarmee overeenkomende grondwatertrappen (Gt's en GHG's).

Gradaties		Grondwatertrap (Gt)	GHG-referentiewaarde (diepte in cm – maaiveld)
code	benaming		
1	zeer diep	VII, VII*	> 80
2	vrij diep	IV, VI	40 - 80
3	matig diep	II*, III*, V*	25 - 40
4	vrij ondiep	II, III, V, soms I	15 - 25
5	zeer ondiep	I soms II	< 15

3.2.2. Vochtleverend vermogen

Onder het vochtleverend vermogen van de grond wordt verstaan de hoeveelheid vocht die in een groeiseizoen van 150 dagen (1 april tot 1 september) in een droog jaar (een zgn. 10% droog jaar) aan de plantewortel kan worden geleverd.

Een droog jaar is een jaar waarvan we aannemen dat de verdamping tijdens het groeiseizoen de neerslag met meer dan 200 mm overtreft. Deze situatie doet zich statistisch gemiddeld eens in de 10 jaar voor. De hiervoor benodigde gegevens zijn ontleend aan het K.N.M.I.-station De Bilt en gelden voor een fictief gewas (bij benadering gras).

Het vochtleverend vermogen van de grond wordt bepaald door:

- de aard en opbouw van het bodemprofiel; belangrijk zijn vooral de dikte en het vochthoudend vermogen van de bewortelbare zone en de vochtlevering vanuit het grondwater (kritieke z-afstand van de ondergrond);
- het grondwaterstandsverloop; hiervan zijn vooral de gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand (GVG) en de gemiddeld laagste grondwaterstand (LG3) in een 10% droog jaar van betekenis.

Voor het vaststellen van het vochtleverend vermogen van een grond hebben we de dikte van de wortelzone nodig. Deze is echter vanwege zijn gewas- en weersafhankelijkheid moeilijk vast te stellen. Daarom wordt nagegaan welke beperkende factoren voor wortelgroei, zoals pH, aëratie en indringingsweerstand, in de grond voorkomen. Met andere woorden: eerst wordt getracht de bewortelbare diepte vast te stellen. Er worden vijf gradaties onderscheiden (tabel 3.2.3). De millimeters vocht die achter iedere gradatie zijn vermeld, duiden de orde van grootte van het vochtleverend vermogen aan.

Tabel 3.2.3. Gradaties in vochtleverend vermogen.

Gradaties		Vochtleverend vermogen (mm)
code	benaming	
1	zeer groot	> 200
2	vrij groot	150- 200
3	matig	100- 150
4	vrij gering	50- 100
5	zeer gering	< 50

3.2.3. Verticale waterbeweging

De beoordelingsfactor verticale waterbeweging wordt gebruikt bij de interpretatie voor verschillende vormen van tuinbouw. Deze geeft een aanduiding van de verzadigde doorlatendheid van het gedeelte van het bodemprofiel dat boven het niveau van de ontwateringsdiepte ligt. Als richtlijn hiervoor wordt momenteel aangehouden een verticale verzadigde doorlatendheid (k_{sat}) in de bovenste 80 cm van meer of minder dan 1 cm · d⁻¹.

3.2.4. Infiltratiesnelheid

Bij de interpretatie van kaartenheden voor het gebruik van gronden voor sportvelden, kampeerterreinen, speel- en ligweiden is de infiltratiesnelheid (q_i) van de bovengrond essentieel. Hiervoor is het begrip *infiltratiecapaciteit* ingevoerd. Hieronder wordt verstaan de infiltratiesnelheid die optreedt bij juist beginnende plasvorming. De infiltratiecapaciteit is onder meer afhankelijk van de poriënfractie (poriënvolume), de poriëngrootteverdeling, de grondwaterstand en de mate waarin de grond is gescheurd. Voor de vaststelling wordt uitgegaan van een q_i die groter of kleiner is dan 18 mm · h⁻¹; nauwkeuriger gezegd: bij een neerslagintensiteit van 0,3 mm · h⁻¹ en een totale neerslag van $P = 18$ mm, zouden bij een infiltratiesnelheid van $q_i < 18$ mm · h⁻¹, een uur na beëindiging van de bui geen plassen meer aanwezig mogen zijn.

3.2.5. Stevigheid van de bovengrond

De stevigheid van de bovengrond geeft een aanduiding over het weerstandsvermogen van een met gras begroeide bovengrond tegen het betreden door vee en het berijden met landbouwwerktuigen.

Een voldoende stevigheid van de bovengrond is in de weidebouw onder andere van belang voor:

- het op het juiste tijdstip toedienen van de eerste stikstofgift;
- verlenging van de weideperiode;
- de beweiding zelf: beweidingsverliezen door vertrapping en berijding kunnen worden vermeden;
- het regelmatig kunnen uitrijden van drijfmest waardoor de opslagcapaciteit bij de boerderij kleiner kan zijn.

In de akkerbouw geeft voldoende draagkrachtige grond minder moeilijkheden bij de grondbewerking en de oogstwerkzaamheden.

Voor de vaststelling van de gradaties van deze beoordelingsfactor zijn drie klassen van indringingsweerstanden genomen. Deze worden gemeten met een penetrometer met een conus van 5 cm² en een tophoek van 60 graden (*Van Wallenburg en Hamming, 1985*). De indringingsweerstand (*I*) is onder meer afhankelijk van de dichtheid, het humusgehalte en het vochtgehalte.

Indringingsweerstanden worden gemeten na een periode met droog weer en bij een grondwaterstand op ongeveer het niveau van de GHG (omstreeks februari, maart). Bij zwellende en krimpende gronden mogen deze metingen alleen worden uitgevoerd als de voorafgaande zomer en herfst niet extreem droog zijn geweest.

Om gronden onderling te kunnen vergelijken, wordt de stevigheid vastgesteld aan de bovengrond van grasland dat ten minste enkele jaren oud is en bij voorkeur geen viltige zode heeft. Als grenswaarde voor beweiding wordt veelal 0,6 MPa gehanteerd. Dit geldt ook voor het uitrijden van drijfmest, grondbewerking en oogstwerkzaamheden in de akkerbouw. Er worden drie gradaties onderscheiden, nl. groot, matig en gering (zie tabel 3.2.4); zij betekenen respectievelijk nagenoeg niet, matig en sterk gevoelig voor vertrapping bij beweiden en insporen bij berijding. Voor grootschalige bodemkaarten wordt door Stiboka een hier niet nader te bespreken indeling in vijf gradaties gebruikt.

Tabel 3.2.4. Gradaties in de stevigheid van de bovengrond.

Gradaties		Indringingsweerstand, <i>I</i>
code	benaming	(MPa)*
1	groot	> 0,6
2	matig	0,3 - 0,6
3	gering	< 0,3

* 0,1 MPa = ca. 1 kgf·cm⁻²

3.2.6. Verkruijmelbaarheid

De verkruijmelbaarheid geeft een aanduiding van het gemak waarmee de bouwvoor zich laat verkruijmel en van de breedte van het vochtgehaltetraject waarbinnen dit mogelijk is. Verkruijmelbaarheid wordt hier beschouwd als een hoedanigheid van het bodemmateriaal zelf.

Gradaties in verkruijmelbaarheid kunnen worden afgeleid uit het lutum-, leem-, humus- en kalkgehalte van de grond, zoals is aangegeven bij de richtlijnen in tabel 3.2.5. Deze tabel is afgeleid uit de tiendelige schaal voor bewerkbaarheid uit het waarderingssysteem van *De Vries* (1974), die teruggrijpt op de resultaten van het onderzoek van *Boekel* (1972). Er worden drie gradaties onderscheiden, namelijk gemakkelijk over een breed vochtgehaltetraject, tamelijk gemakkelijk over een betrekkelijk breed vochtgehaltetraject en moeilijk over een nauw vochtgehaltetraject (zie tabel 3.2.5).

Tabel 3.2.5. Gradaties in de verkruijmelbaarheid.

Gradaties			Samenstelling bouwvoor		
code	benaming	vochtgehaltetraject	textuur	org. stof (%)	koolzure kalk (%)
1	gemakkelijk	breed	-	moerig	-
			zand	-	-
			zandige leem	-	-
			lichte zavel	-	-
			zware zavel	> 2	> 0,5 < 0,5
2	tamelijk gemakkelijk	betrekkelijk breed		< 2	-
			lichte klei	-	-
			siltige leem	-	-
3	moeilijk	nauw		> 5	> 0,5
			zware klei		< 0,5
				< 5	-

3.2.7. Slempgevoeligheid

Deze beoordelingsfactor duidt aan in hoeverre de bodemaggregaten bestand zijn tegen uiteenvallen in micro-aggregaten of in afzonderlijke korrels onder invloed van de neerslag of tegen vervloeiing bij hoge vochtgehalten. Als deze verschijnselen alleen aan het oppervlak plaatsvinden, spreken we van *oppervlakkige slemp*, bij opdrogen ontstaat dan een slempkorst. Zakt de gehele bouwvoor in elkaar, dan spreekt men van *interne slemp*.

De slempgevoeligheid is een hoedanigheid van het bodemmateriaal zelf, die kan worden afgeleid uit het gehalte aan lutum, organische stof en kalk van de bouwvoor. Deze factoren zijn dan ook gebruikt in tabel 3.2.6. Voor lemig zand zijn nog geen richtlijnen opgesteld; afhankelijk van de fijnheid van het zand en van het lutumgehalte komen gradatie 2 of 3 voor.

De indeling is gebaseerd op het waarderingssysteem van *De Vries* (1974), dat weer terugrijpt op het onderzoek van *Boekel* (1972).

Of slemp op een slempgevoelige grond werkelijk zal optreden, hangt onder meer af van de neerslag, de ontwateringstoestand en de begroeiing.

Door slemp wordt de aëratie van de grond ongunstig beïnvloed, waardoor de zuurstofvoorziening van de plantewortels in gevaar kan komen. Ook neemt de infiltratiecapaciteit en het waterbergend vermogen van de grond af. Als een verslempde grond opdroogt, ont-

Tabel 3.2.6. Gradaties in de slempgevoeligheid.

Gradaties		Samenstelling bouwvoor		
code	benaming	textuur	org.stof (%)	koolzure kalk (%)
1	gering	-	moerig	-
		leemarm zand	-	-
		klei	-	-
		zwarte zavel	-	> 0,5
2	matig		-	< 0,5
		siltige leem	-	-
			> 3	
		lichte zavel		> 0,5
3	groot		< 3	< 0,5
		zandige leem	-	-

staat een slempkorst aan het oppervlak. Een slemplaag of slempkorst heeft nadelen voor de landbouw: de grond droogt in het voorjaar langzaam op, de zuurstofvoorziening van ingezaaide gewassen komt in het gedrang en vooral bij fijnzadige gewassen kan kiembeschadiging optreden.

Er worden drie gradaties onderscheiden (zie tabel 3.2.6). Op gronden met gradatie 1 treedt gemiddeld in minder dan 1 van de 10 jaren oppervlakkige of interne slemp op. Op gronden met gradatie 2 treedt in 1 tot 5 van de 10 jaren duidelijk oppervlakkige en weinig interne slemp op. Gronden met gradatie 3 zijn in meer dan 5 van de 10 jaar onderhevig aan sterke oppervlakkige en veelal ook aan interne slemp (Albers, 1981).

3.2.8. Stuifgevoeligheid

Deze beoordelingsfactor geeft een aanduiding over de weerstand die de grond heeft tegen verstuiven. Verstuiven treedt vooral in een droog voor- en najaar op, wanneer de grond (gedeeltelijk) kaal is en de onderlinge binding van de gronddeeltjes van de bouwvoor te gering is om de eroderende kracht van de wind te weerstaan en de bescherming door het gewas ontbreekt.

Het is niet eenvoudig richtlijnen te geven om de gevoeligheid voor verstuiven van grond vast te stellen. De belangrijkste bodemfactoren zijn: lutum- en leemgehalte, korrelgrootteverdeling van het zand (globaal voor zanden $M50 < 210\mu m$) en vochtgehalte van de bovengrond.

Er zijn aanwijzingen dat ook de kwaliteit van de organische stof gerelateerd is aan het lutumgehalte en, in wat mindere mate, aan het leemgehalte. Vandaar dat (voorlopig) alleen het lutum- en leemgehalte als richtlijnen worden gehanteerd voor het vaststellen van de gradaties voor stuifgevoeligheid (zie tabel 3.2.7).

De gradaties gelden bij vlakke en open ligging. Naast deze bodemfactoren zijn de graad van bodembedekking en beschutting door de wind belangrijk. De indeling in gradaties is voornamelijk gebaseerd op het onderzoek van Booij (In: *Stichting voor Bodemkartering*, 1978); Brussel, (1980) en Zuur, (1948). Bepaalde gronden, met name droge, schrale zandgronden met lage organische-stofgehalten en gronden met zeer hoge organische-stofgehalten maar van een slechte kwaliteit en daardoor weinig binding als gevolg van lage lutum- en leemgehalten, zijn erg stuifgevoelig. Veelal gaat het om een losse bovenlaag die is opgedroogd of drooggevroren.

Verstuiving leidt tot afname van het organische-stofgehalte, het vochtleverend vermogen, de chemische bodemvruchtbaarheid en de biologische activiteit. Verder kunnen ziekten en onkruiden zich verbreiden, kiemende zaden en zelfs aardappelen blootstuiven, jonge plantjes onderstuiven of beschadigd worden en ook sloten plaatselijk dichtstuiven.

Er worden drie gradaties onderscheiden (zie tabel 3.2.7).

Tabel 3.2.7. Gradaties in de stuifgevoeligheid.

Gradaties		Samenstelling bouwvoor	
code	benaming	lutum (%)	leem (%)
1	gering	> 5	-
		3 - 5	> 17,5
		< 3	> 32,5
2	matig	3 - 5	< 17,5
		< 3	10 - 32,5
3	groot	< 3	< 10

3.2.9. Voedingstoestand

De voedingstoestand geeft een aanduiding over de vruchtbaarheid van een grond (gehalte aan voor de boomgroei noodzakelijke voedingsstoffen) die voorkomt wanneer deze grond ten minste de laatste 10 à 15 jaren met bos of met een natuurlijke vegetatie is begroeid en in die periode niet (meer) is bekalkt of bemest.

De voedingstoestand wordt alleen gebruikt bij de bodemgeschiktheidsbeoordeling voor de bosbouw.

Er worden drie reeksen van elk vijf gradaties onderscheiden, één voor de veengronden, één voor de zand-, leem- en zavelgronden en één voor de kleigronden (tabel 3.2.8).

Tabel 3.2.8. Gradaties in voedingstoestand.

Gradaties		Bodem, bodemgebruik en vegetatietypen
code	benaming	
1	zeer hoog	richtlijnen: zie tabellen 3.2.9 en 3.2.10
2	vrij hoog	
3	matig	
4	vrij laag	
5	zeer laag	

De voedingstoestand wordt niet rechtstreeks aan de bodem waargenomen, maar afgeleid uit de bodem en het bodemgebruik (zie tabel 3.2.9), waarbij de spontane vegetatie (zie tabel 3.2.10) een rol speelt.

Ingang van tabel 3.2.9 is de legenda-eenheden van de Bodemkaart van Nederland, 1:50.000 (kolommen 1 en 2). Uit kolom 3 (code legendagroep) blijkt dat deze legenda-eenheden ten behoeve van de bosbouwsleutel in drieën worden gedeeld; in deze kolom gecodeerd als 1, 2 en 3. Bij de toekenning van de gradaties is onderscheid gemaakt tussen

Tabel 3.2.9. Gradatie in voedingstoestand in afhankelijkheid van legenda-eenheid, bodemgebruik en vegetatietype.

Legenda van de Bodemkaart van Nederland 1:50.000			gradaties in voedingstoestand													
Hoofdklassen	Codes legenda-eenheden	Code legenda-groep	Agrar. bodemgebruik	Vegetatietypen in bos- en natuurterreinen (<i>Bannink e.a., 1973</i>).												
				0	K3	K2	K1	Z	K0	R4	R3	R2	R1.2	R1.1	H2	H1
					VII		VI			V		IV	III		II	I
Veengronden (V)	hV, hEV, pV, kV	1	1	1-4	1				2				3			4
	aV, aEV, zV, iV, V		2	2-5	2				3				4			5
Moerige gronden (W)	vWz (kleiïge bovengrond), kWz, uWz	2	1	1-4	1				2				3			4
	vWz (kleiarne bovengrond) iWz, zWz, vWp, iWp, kWp		2	2-5	2				3				4			5
	Wo, Wg	3	1	1-4	1				2				3			4
Podzolgronden (H en Y)	Y, Yb, cY	2	2	2-4				2				3				4
	Hn, kHn, cHn, Hd, cHd, (Y30)		2	2-5	2				3				4			5
Brikgronden (BK en BL) en Leemgronden (L)	BL6, BK, pL6, L6	2	1	1-4	1				2			3				4
	BL5, BZ, pL5, L5		2	2-4				2				3				4
Dikke eerdgronden (E)	EK	2	1	1-4	1				2				3			4
	EZg, bEZ, EL		2	2-4					2			3				4
	zEZ, (bEZ30)		2	2-5	2				3				4			5
Kalkloze zandgronden (Z)	kpZg, kpZn, kZn, (pZg23 en Zn23 met 5-8 % lutum)	2	1	1-4	1				2				3			4
	pZg, Zb		2	2-4					2			3				4
	pZn, tZd, cZd, Zn, Zd		2	2-5	2				3				4			5
Kalkhoudende zandgronden (Z...A) en Bijzondere lutumarme gronden (S)		alle eenheden	2	1	1-4	1			2				3			4
Zeekleigronden (M) en Rivierkleigronden (R)	alle eenheden (zavel)	2	1	1-4	1				2				3			4
	alle eenheden (klei)	3	1	1-4	1				2				3			4
Oude kleigronden (K)	pKR, KR (zavel)	2	1	1-4	1				2				3			4
	pKR, KR (klei)	3	1	1-4	1				2				3			4
	KM, KG, KD, KX (zavel)	2	1	1-5	1				2		3		4			5
	KM, KG, KD, KX (klei)	3	1	1-5	1				2		3		4			5

Tabel 3.2.10. Vegetatietypen in Nederlandse bossen.

Lichte bossen		Donkere bossen	
gezelschap van	code <i>Bannink et al.</i> (1973)	gezelschap van	code <i>Bannink et al.</i> (1973)
zandzegge en ruig haarmos	A0	zonder ondergroei	0
duinriet en zandzegge	K0		
} veel open zand			
rendiermos en zandgaffeltand	A1		
rendiermos en klauwtjesmos	A2		
bronsmos, klauwtjesmos en gewoon gaffeltandmos	H1		
bronsmos en groot laddermos	H2		
bronsmos, bochtige smele en struisgrassen	R1, 1		
bronsmos en wilde lijsterbes	R1, 2		
braam, stekelvaren en groot laddermos	R2		
gladde witbol, valse salie en braam	R3		
framboos en braam	R4		
witte klaverzuring, hazelaar en drienerfmuur	Z		
grote brandnetel en stekelvaren	K1		
dauwbraam, vlasbekje en hondstong	K2		
dauwbraam en roberts- kruid	K3		
		kantmos en klauwtjesmos	I
		kronkelsteeltje en gewoon sterremos	II
		kronkelsteeltje, wilde lijsterbes en knikkend wilgeroosje	III
		stekelvaren en liggend walstro	IV
		wilde kamperfoelie, stekelvaren en drienerfmuur	V
		rankende helmbloem, witte klaverzuring, stekelvaren en braam	VI
		witte klaverzuring, dauwbraam, robertskruid en speenkruid	VII

gronden die een agrarisch bodemgebruik hebben en gronden onder bos of in natuurterreinen. Op gronden met agrarisch bodemgebruik kunnen vrijwel alle boomsoorten ruimschoots van de nodige voedingsstoffen worden voorzien. Aan deze gronden wordt dan ook een zeer hoge of vrij hoge gradatie in voedingstoestand (1 of 2) toegekend, die uit kolom 4 van tabel 3.2.9 is af te lezen.

3.2.10. Zuurgraad

Deze beoordelingsfactor geeft een aanduiding over de zuurgraad in de bewortelbare zone van een grond, die optreedt wanneer deze grond ten minste de laatste 10 à 15 jaren met bos of met een natuurlijke vegetatie is begroeid en in die periode niet (meer) is bekalkt of bemest. Hij wordt alleen gebruikt bij de bodemgeschiktheidsbeoordeling voor de bosbouw. Er worden drie gradaties onderscheiden (tabel 3.2.11).

Tabel 3.2.11. Gradaties in zuurgraad.

Gradaties		pH-KCl
code	benaming	
1	neutraal	> 6,5
2	zwak zuur	4,5 - 6,5
3	sterk zuur	< 4,5

In het algemeen kan gesteld worden dat kalkrijke gronden gradatie 1 hebben; kalkloze (voor zover geen katteklei) en kalkarme kleigronden, zee- en rivierzandgronden en een deel van de beekerdgronden, leemgronden en oude kleigronden hebben gradatie 2; de overige gronden (waaronder veel veengronden) vallen in gradatie 3.

De vaststelling van de zuurgraad door pH-KCl metingen moet men alleen uitvoeren op gronden met bos of met een natuurlijke vegetatie, zoals hiervoor is aangegeven.

3.3. De geschiktheid van gronden

3.3.1. De geschiktheid van gronden voor akkerbouw

Randvoorwaarden

De bodemgeschiktheidsclassificatie voor akkerbouw gaat uit van een zuiver akkerbouw-bedrijf van ten minste 30 ha (150-190 sbe) met een bouwplan van 40% of meer hakvruchten en verder granen. Voor zover geen gebruik wordt gemaakt van loon- of combinatie-werk is de mechanisatie-graad zodanig, dat met een minimum aan mankracht de werkzaamheden aan bodem en gewas kunnen worden uitgevoerd. Verkaveling en ontsluiting maken het mogelijk de gewassen in eenheden van grote oppervlakten te telen. De bodemvruchtbaarheid heeft het voor de bodemkundige situatie gewenste niveau en het bedrijf wordt goed geleid. Iedere kaarteenhed wordt beoordeeld alsof het gehele bedrijf uit grond van die eenheid bestaat.

Vaststelling van de bodemgeschiktheid

De toekenning van een geschiktheidsklasse aan de kaarteenheden gebeurt met de sleutel uit tabel 3.1.1. De geschiktheid wordt afgeleid met behulp van de beoordelingsfactoren ontwateringstoestand, vochtleverend vermogen, aard van de bovengrond, stevigheid van de bovengrond, verkrumelbaarheid, slempgevoeligheid en stuifgevoeligheid.

Tabel 3.3.1. Sleutel voor de vaststelling van hoofdklassen en middenklassen van de bodemgeschiktheid voor akkerbouw.

Ontwateringstoestand	Vochtleverend vermogen	Bovengrond													
		Klei, zavel en leem						Zand en moerig							
		1						2							
		Stevigheid van de bovengrond													
		1			2			3	1	2	3				
		Verkrumelbaarheid													
		1	2	3	1	2	3	1, 2 of 3	1						
		Slemp- of stuifgevoeligheid													
1 of 2	3	1 of 2	3	1, 2 of 3			1, 2 of 3			1 of 2	3	1, 2 of 3			
1 of 2	1	1.1				2.2		1.2		2.2		1.3		1.4	
	2	1.2						1.2		2.2					
	3	2.3						2.3				2.3			
	4 of 5														
3	1				2.2			2.1		2.2					
	2	1.2	2.1	1.2				2.1		2.2		1.4		2.1	
	3	2.3						2.3				2.3			
	4 of 5														
4	1														
	2	2.1													
	3														
	4 of 5														
5	1, 2 of 3														
	4 of 5														

Een aantal combinaties van de beoordelingsfactoren komt in de praktijk niet voor. Omwille van de uniformiteit zijn aan dergelijke combinaties wel geschiktheidsklassen toegekend.

Bodemgeschiktheidsclassificatie

In tabel 3.3.2 zijn de hoofdklassen voor akkerbouw en hun onderverdeling in middenklassen weergegeven. In deze geschiktheidsklassen wordt bij de gronden met ruime mogelijkheden een onderscheid gemaakt tussen gronden met een kleivruchtwisseling enerzijds en die met een zandvruchtwisseling anderzijds. Dit onderscheid is ingevoerd, omdat bij de akkerbouw op klei-, zavel- en leemgronden gebruikelijke gewassen zoals wintertarwe, zomergranen, aardappelen, suikerbieten en handelsgewassen voorkomen en op moerige gronden, veengronden (overwegend veenkoloniale gronden) en zandgronden gebruikelijke gewassen als zomergranen, aardappelen, suikerbieten en maïs. In tabel 3.3.3 worden normen voor een hoog opbrengstniveau gegeven.

Tabel 3.3.2. Bodemgeschiktheidsklassen voor akkerbouw.

1. Gronden met ruime mogelijkheden voor akkerbouw	
1.1.	kleivruchtwisseling; hoog opbrengstniveau; weinig teeltrisico; goed berijdbaar en bewerkbaar
1.2.	kleivruchtwisseling; matig tot hoog opbrengstniveau; enig teeltrisico; ten dele enigszins beperkt berijdbaar en bewerkbaar
1.3.	zandvruchtwisseling; hoog opbrengstniveau; weinig teeltrisico; goed berijdbaar en bewerkbaar
1.4.	zandvruchtwisseling; matig tot hoog opbrengstniveau; enig teeltrisico; ten dele beperkt bedrijfbaar; goed bewerkbaar
2. Gronden met beperkte mogelijkheden voor akkerbouw	
2.1.	vrij groot teeltrisico; veelal beperkt berijdbaar
2.2.	vrij groot teeltrisico; beperkt bewerkbaar
2.3.	vrij groot teeltrisico; vochttekort
3. Gronden met weinig mogelijkheden voor akkerbouw	
3.1.	zeer groot teeltrisico; zeer beperkt berijdbaar of bewerkbaar
3.2.	zeer groot teeltrisico; groot vochttekort

Tabel 3.3.3. Normen voor opbrengstniveau van enkele akkerbouwgewassen (*Proefstation voor de Akkerbouw en de Groenteteelt in de Vollegrond, 1986*)

Gewas	Opbrengst in kg · ha ⁻¹	
	Kleivruchtwisseling	Zandvruchtwisseling
wintertarwe	> 8.000	> 6.500
zomertarwe	> 6.000	> 5.000
zomergerst	> 5.500	> 4.500
consumptie-aardappelen	> 45.000	> 40.000
suikerbieten	> 55.000	> 45.000
maïs		> 13.000

3.3.2. De geschiktheid voor gronden voor weidebouw

Randvoorwaarden

De bodemgeschiktheidsclassificatie voor weidebouw gaat uit van een intensief weidebedrijf, gericht op de melkveehouderij, met een oppervlakte van 20 ha of meer (150-190 sbe) en een bezetting van circa 2,5 grootvee-eenheden (g.v.e.) per ha gras plus groenvoedergewassen (snijmaïs). Het vee graast in aantallen van vele tientallen stuks. Gedurende de weideperiode maken deze koppels tweemaal daags de gang naar de centrale melkstal. Van de stal wordt de drijfmest uitgereden over het land op tijdstippen die voor de bedrijfsvoering en de grasgroei zo gunstig mogelijk zijn, waarbij rekening gehouden wordt met de periode waarvoor een uitrijverbod geldt. Er wordt stikstof als kunstmeststikstof gegeven (variërend van 100-400 kg N per ha).

Verzorging en onderhoud van het grasland en de winning van ruwvoer worden meestal met zware werktuigen uitgevoerd. Verkaveling en ontsluiting zijn zodanig dat het mogelijk is verschillende beweidingssystemen toe te passen (*Overvest en Laeven-Kloosterman*, 1984). De bodemvruchtbaarheid heeft het voor de bodemkundige situatie gewenste niveau en het bedrijf wordt goed geleid. Iedere kaartenheid wordt beoordeeld alsof het gehele bedrijf uit grond van die eenheid bestaat.

Vaststelling van de bodemgeschiktheid

De toekenning van een geschiktheidsklasse aan de kaartenheden gebeurt met de sleutel in tabel 3.3.4. De geschiktheid wordt afgeleid met behulp van de beoordelingsfactoren ontwateringstoestand, vochtleverend vermogen en de stevigheid van de bovengrond. Een aantal combinaties van beoordelingsfactoren komt in de praktijk niet voor. Omwille van de uniformiteit zijn aan dergelijke combinaties wel geschiktheidsklassen toegekend.

Bodemgeschiktheidsclassificatie

In tabel 3.3.5 zijn de hoofdklassen voor weidebouw en hun onderverdeling in middenklassen weergegeven.

Tabel 3.3.4. Sleutel voor de vaststelling van hoofdklassen en middenklassen van de bodemgeschiktheid voor weidebouw.

Ontwateringstoestand	Vochtleverend vermogen	Stevigheid van de bovengrond				
		1	2	3		
1 of 2	1	1.1	1.2	2.1		
	2	1.3	1.4			
	3	2.2	2.3			
	4 of 5					
3	1	1.1	1.2			
	2	1.3	1.4			
	3	2.2	2.3			
	4 of 5					
4	1	1.2	2.1			
	2	1.3				
	3	2.2	2.3			
	4 of 5					
5	1, 2 of 3	2.1				
	4 of 5					

8200195 - 36 29

8200195/ 38 29

Tabel 3.3.5. Bodemgeschiktheidsklassen voor weidebouw.

1. Gronden met ruime mogelijkheden voor weidebouw

- 1.1. hoge bruto-productie; weinig beweidingsverliezen; goed berijdbaar
- 1.2. hoge bruto-productie; weinig beweidingsverliezen, behalve in natte jaren; enigszins beperkt berijdbaar
- 1.3. hoge bruto-productie, behalve in droge jaren; weinig beweidingsverliezen; goed berijdbaar
- 1.4. hoge bruto-productie, behalve in droge jaren; weinig beweidingsverliezen, behalve in natte jaren; enigszins beperkt berijdbaar

2. Gronden met beperkte mogelijkheden voor weidebouw

- 2.1. hoge bruto-productie; matige beweidingsverliezen; beperkt berijdbaar
- 2.2. matige bruto-productie in droge jaren; weinig beweidingsverliezen; goed berijdbaar
- 2.3. matige bruto-productie in droge jaren; matige beweidingsverliezen in natte jaren; beperkt berijdbaar

3. Gronden met weinig mogelijkheden voor weidebouw

- 3.1. matige of hoge bruto-productie; grote beweidingsverliezen; zeer beperkt berijdbaar
- 3.2. lage of matige bruto-productie; weinig beweidingsverliezen; goed berijdbaar

3.3.3. De geschiktheid van gronden voor bosbouw

Randvoorwaarden

De beoordeling van de geschiktheid van de gronden voor bosbouw geschiedt tegen de achtergrond van de meervoudige functies van het bos en de daaruit voortvloeiende doelstelling van de bosbouw. Beoogd wordt het verkrijgen van een zo hoog mogelijk profijt op het gebied van de houtproductie, de recreatie en het natuurbehoud. De vaststelling van het profijt op het gebied van de recreatie en het natuurbehoud stuit tot nu toe op grote moeilijkheden. Voorlopig wordt er daarom van uitgegaan dat het bos beter aan de meervoudige doelstelling beantwoordt naarmate het sneller tot volle wasdom komt en de boomsoortensamenstelling gevarieerder is. Volgens dit uitgangspunt wordt een grond voor bosbouw hoger aangeslagen naarmate het aantal boomsoorten dat er op kan groeien groter, en de groei van die bomen beter is. Het is niet uitgesloten dat met deze benadering meer recht wordt gedaan aan de productieve en recreatieve functie dan aan de functie ten aanzien van het natuurbehoud.

De beoordeling geldt voor bos dat goed wordt beheerd en bestaat uit weinig of niet gemengde opstanden.

Vaststelling van de bodemgeschiktheid

De toekenning van de geschiktheid aan de kaarteenheden gebeurt met de sleutel in tabel 3.3.6 met behulp van de beoordelingsfactoren ontwateringstoestand, vochtleverend vermogen, voedingstoestand en zuurgraad. Hierbij worden de legenda-eenheden op grond van het moeder materiaal in drie groepen ingedeeld (kolom 3 in tabel 3.2.9). Een aantal combinaties van beoordelingsfactoren komt in de praktijk niet voor. Omwille van de uniformiteit zijn aan dergelijke combinaties wel geschiktheidsklassen toegekend.

Bodemgeschiktheidsclassificatie

De indeling in geschiktheidsklassen berust op de boomgroei en het assortiment boomsoorten. Voor de classificatie worden zeven van de in de Nederlandse bosbouw veel voorkomende boomsoorten gebruikt: populier, zomereik, beuk, groveden, douglasspar, Japanse lariks en fijnspar. Met deze zogenaamde gidsboomsoorten kan in voldoende mate onderscheid worden gemaakt tussen gronden die men als meer of minder geschikt voor de bosbouw beschouwt. In tabel 3.3.7 wordt aangegeven wat onder goede, normale en slechte groei van deze boomsoorten in termen van gemiddeld jaarlijkse aanwas per ha wordt verstaan.

In tabel 3.3.8 zijn de landelijk onderscheiden hoofdklassen en hun onderverdeling in mid-denklassen weergegeven.

Tabel 3.3.6. Sleutel voor de vaststelling van hoofdklassen en middenklassen van de bodemgeschiktheid voor bosbouw.

Ontwateringstoestand	Vochtleverend vermogen	Legendagroep																								
		2		1 of 2					3																	
		Zuurgraad																								
		1		2		3			1		2		3													
		Voedingstoestand																								
		1	2	3	1	2	3	4	1	2	3	4	5	1	2	3	1	2	3	4	1	2	3	4	5	
1	1	1.3			1.3				1.1			2.1		1.3			1.3				1.3					
	2		2.1			2.1							2.1		2.1			2.1				2.1				
	3																							2.2		
	4								2.2																	
	5																									
2	1	1.3			1.3				1.1			2.1		1.3			1.3				1.3					
	2		2.1			2.1							2.1		2.1			2.1				2.1				
	3																							2.3		
	4								2.2																	
	5																									
3	1	1.3			1.3				1.1					1.3			1.3				1.3					
	2		2.1			2.1				1.2					2.1			2.1				2.1				
	3								1.2			2.1												2.2		
	4								2.2																	
	5																									
4	1		2.3			2.3			2.1					2.3			2.3				2.3					
	2																									
	3											2.3														
	4																									
	5																									
5	1, 2 of 3																									
	4 en 5																									

82001/95

Tabel 3.3.7. Gemiddelde aanwas bij goede, normale en slechte groei van gidsboomsoorten ¹⁾.

Boomsoorten	Gemiddelde aanwas (m ³ per ha per jaar)		
	goede groei	normale groei	slechte groei
populier (Robusta)	≧ 17,0	12,5 - 17,0	< 12,5
zomereik	≧ 6,5	3,5 - 6,5	< 3,5
beuk	≧ 6,8	3,4 - 6,8	< 3,4
groveden	≧ 6,6	4,2 - 6,6	< 4,2
douglasspar	≧ 13,5	8,8 - 13,5	< 8,8
Japanse lariks	≧ 11,9	7,2 - 11,9	< 7,2
fijnspaar	≧ 12,3	7,6 - 12,3	< 7,6

¹⁾ indeling opgesteld in nauw overleg met "De Dorschkamp" en het Staatsbosbeheer.

Tabel 3.3.8. Bodemgeschiktheidsklassen voor bosbouw.

-
- 1. Gronden met ruime mogelijkheden voor bosbouw**
(goede groei van ten minste 3 gidsboomsoorten)
 - 1.1. goede groei van 6 à 7 gidsboomsoorten
 - 1.2. goede groei van 4 à 5 gidsboomsoorten
 - 1.3. goede groei van 3 gidsboomsoorten
 - 2. Gronden met beperkte mogelijkheden voor bosbouw**
(goede groei van ten hoogste 2 gidsboomsoorten of normale groei van ten minste 3 gidsboomsoorten)
 - 2.1. goede groei van 1 à 2 gidsboomsoorten
 - 2.2. normale groei van 5 à 7 gidsboomsoorten
 - 2.3. normale groei van 3 à 4 gidsboomsoorten
 - 3. Gronden met weinig mogelijkheden voor bosbouw**
(normale groei van ten hoogste 2 gidsboomsoorten)
 - 3.1. normale groei van 1 à 2 gidsboomsoorten
 - 3.2. slechte groei van alle gidsboomsoorten
-

3.4. Literatuur

- Albers, H.T.M.P., G.A. van Soesbergen en L.A.H. de Smet, 1981.
Verslemping van akkerbouwpercelen in het zuidwestelijk Zeekleigebied. *Bedrijfsontwikkeling* 12(1): p. 59-64.
- Bannink, J.F., H.N. Leijns en I.S. Zonneveld, 1973.
Vegetatie, groeiplaats en boniteit in Nederlandse naaldhoutbossen. *Bodemkundige Studies* 9. Stichting voor Bodemkartering Wageningen.
- Boekel, P., 1972.
Factoren die van invloed zijn op de structuur van de grond. In: *Bodemkunde in de moderne land- en tuinbouw* p. 12-22. Voordrachten gehouden op de 28e B-leergang, Ministerie van Landbouw en Visserij, 's-Gravenhage.
- Brussel, P.C.M., 1980.
Winderosie en de Veenkolonien. Nota 1169. Instit. voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Wageningen.
- Buishand, T.A., 1982.
Het verloop van het potentiële neerslagoverschot in een zomerhalfjaar van een bepaalde droogtegraad. *Cultuurtechn. Tijdschr.* 22(1): p. 11-19.
- Dam, J.G.C. van., 1973.
Bodemgeschiktheidsonderzoek, in het bijzonder bij asperges, appels en stoktomen. Diss. Wageningen, Pudoc, Wageningen.
- Droge, H., K.J. Poppe en H. Prins, 1983.
Toepassing van standaardbedrijfseenheden en bewerkingseenheden in onderzoek en voorlichting op landbouwbedrijven (sbe en be in 1981). LEI-mededeling no. 273.
- Ebbers, G. en R. Visschers, 1985.
Vergelijking van de bodemgesteldheid en bodemgeschiktheid voor de weidebouw voor en na ruilverkaveling. *Cultuurtechn. Tijdschr.* 24(4): p. 185-193.
- Haans, J.C.F.M., 1984.
Bodemkartering en haar toepassingen; ontwikkelingen in het bodemgeschiktheidsonderzoek en de bodemkaartinterpretatie in Nederland. In: *Op grond van de bodem; heden en toekomst*. Publ. Fysisch-Geograf. Bodemk. Lab. 39: p. 1-32.

- Haans, J.C.F.M., G.G.L. Steur en G. Heide, 1984.
Progress in land evaluation. Proceedings of a Seminar on Soil Survey and Land Evaluation. p. 255-279. Balkema, Rotterdam/Boston.
- Houben, J.M.M.Th., 1979.
Bodemgesteldheid en diepte van beworteling. Rp. 1459, Stichting voor Bodemkartering, Wageningen.
- Houben, J.M.M.Th., 1981.
Bodemdichtheid en gewasgroei. Cultuurtechn.Tijdschr. 21(3): p. 144-158.
- Knaap, W.C.A. van der, 1984.
Bodemgeschiktheid voor bloembollenteelt. Bedrijfsontwikkeling 15(12): p. 983-987.
- Krabbenborg, A.J., J.N.B. Poelman en E.J. van Zuilen, 1983.
Standaard-vocht karakteristieken van zandgronden en veenkoloniale gronden. Rp. 1680 Deel I, Deel II, aanhangsel. Stichting voor Bodemkartering, Wageningen.
- Lynden, K.R. van, 1977.
De bodemgeschiktheid voor bosbouw. Bosb. Tijdschr. 49(2): p. 89-94.
- Lynden, K.R. van en H. de Bakker, 1987.
Bodemkunde van Nederland, Deel 2, hoofdstuk 38: De interpretatie van bodemkaarten.
- Lynden, K.R. van, G.A. van Soesbergen, C. van Wallenburg en G.J.W. Westerveld, 1985.
De interpretatie van de bodemkaarten in Nederland. Cultuurtechn.Tijdschr. 25(2): p. 58-68.
- Mekkink, P. en H. Kleijer, 1983.
Boswachterij Ruinen. Bodemgesteldheid en bodemgeschiktheid. Rp. 1671 Stichting voor Bodemkartering, Wageningen.
- Overvest, J. en A.F. Laeven-Kloosterman, 1984.
Graslandgebruikssystemen op het gezinsbedrijf. Rp. nr. 94 Proefstation voor de Rundveehouderij, Lelystad.
- Prins, R.A., R.W. Hommes en J.C.F.M. Haans, 1985.
Grond tot zorg. Raad voor het Milieu- en Natuuronderzoek. Nr. 12, Rijswijk, Nederland.
- Proefstation voor de Akkerbouw en de Groenteteelt in de Vollegrond, 1986.
Kwantitatieve informatie voor de Akkerbouw en de Groenteteelt in de Vollegrond. Bedrijfsynthese 1986-1987. Publ.nr. 33. PAGV.
- Sluijs, P. van der, 1982.
De grondwatertrap als karakteristiek van het grondwaterstandsverloop. H₂O, 15(3): p. 42-46.
- Sluijs, P. van der, 1985.
Vochtlevering door de grond. Bodemnatuurkunde. Voorpublicatie uit: Bodemkunde van Nederland, Deel 1, Algemene bodemkunde, hoofdstuk 18.
- Soesbergen, G.A. van, C. van Wallenburg, K.R. van Lynden en H.A.J. van Lanen, 1986.
De interpretatie van bodemkundige gegevens. Een bodemkundige methode om gronden te beoordelen op hun geschiktheid voor akkerbouw, weidebouw en bosbouw. Rp. 1967 Stichting voor Bodemkartering, Wageningen.
- Soesbergen, G.A., J. Domhof en J.H.M. Wösten, 1984.
De geschiktheid van de bodem voor de produktie van snijmaïs. Rp. 1832 Stichting voor Bodemkartering, Wageningen.
- Steur, G.G.L., F. de Vries en C. van Wallenburg, 1985.
Bodemkaart van Nederland 1:250.000, beknopte beschrijving van de kaartenheden. Stichting voor Bodemkartering, Wageningen.
- Stichting voor Bodemkartering, 1978.
Bodemkaart van Nederland 1:50.000. Toelichting bij de kaartbladen 17 West Emmen en 17 Oost Emmen. Stichting voor Bodemkartering, Wageningen.
- Vink, A.P.A. en E.J. van Zuilen, 1967.
De geschiktheid van de bodem van Nederland voor akker- en weidebouw van Nederland, toelichting bij de globale geschiktheidskaart voor akker- en weidebouw van Nederland, schaal 1:200.000, Stichting voor Bodemkartering, Wageningen.
- Vis, T., 1974.
Veldbodemkundig onderzoek naar het verband tussen bos en bodem op humuspodzolgronden. Ned. Bosb. Tijdschr. 46(5): p. 94-111.

Vrielink, J.G. en H. Kleijer, 1985.

De bodemgesteldheid van de boswachterij Norg. Rp. 1752 Stichting voor Bodemkartering, Wageningen.

Vries, Th. de, 1974.

Waardering voor de landbouwkundige waarde van de grond. Bedrijfsvoorlichting 56(2): p. 159-168.

Waenink, A.W., 1974.

Bodemvegetatie als hulpmiddel bij de geschiktheidsbeoordeling van gronden voor de Japanse lariks. Ned. Bosb. Tijdschr. 46(4): p. 63-78.

Wallenburg, C. van en C. Hamming, 1985.

De zodestevigheid van grasland in relatie tot bodemgesteldheid en ontwatering. Cultuurtechn. Tijdschr. 25(2): p. III-II9.

Zuilen, E.J. van, J.N.B. Poelman en C. Hoekstra, 1985.

Vochtkenmerken van kleilagen in het zeekleigebied af te leiden uit eenvoudige eigenschappen van de grond. Rp. 1895 Stichting voor Bodemkartering, Wageningen.

Zuur, A.J., 1948.

Stuiven van mariene gronden. Maandblad Landb. Voorl. Dienst 5(II): p. 518-522.

4. Bodemtechniek

4.1. Inleiding

Bodemtechniek betreft het vakgebied van het geschikt maken of geschikt houden van de bodem voor een bepaalde gebruikswijze. Dit kan variëren van een landbouwkundig gebruik voor de teelt van een bepaald gewas tot het gebruik voor civieltechnische doeleinden, recreatie en natuur.

Bodemtechnische maatregelen betreffen technische ingrepen en beïnvloeding van natuurlijke processen aangaande:

- hoogteligging;
- reliëf van maaiveld;
- bodemprofiel.

De beïnvloeding van natuurlijke processen omvat onder andere het bevorderen van aanslibbing ten behoeve van landaanwinning, rijping van drooggelegde gronden en van opge vulde en opgehoogde terreinen. De rijping gaat veelal gepaard met een daling van het oppervlak.

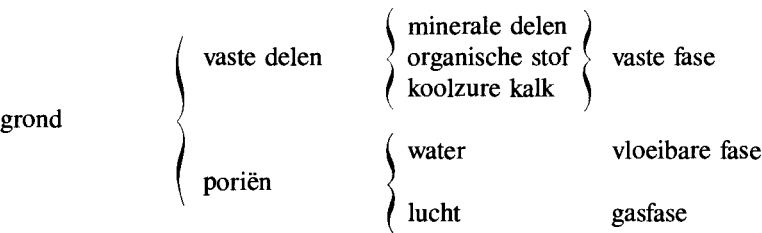
De hoogteligging kan kunstmatig worden verhoogd door ophoging met grond van elders alsook kunstmatig worden verlaagd, bijvoorbeeld om specie te winnen voor andere doeleinden.

Wijziging van bodemprofiel en maaiveldreliëf worden vaak gecombineerd uitgevoerd. Hiervoor wordt meestal de term *grondverbetering* gebruikt.

Ook beschermingsmaatregelen tegen erosie door water en wind en het in cultuur brengen van speciale terreinen als afgetichelde uiterwaarden, zand- en grindwinningsgroeven, vuilnisbelten, vervallen wegen enz. behoren tot het vakgebied van de bodemtechniek.

4.2. Algemene begrippen, eenheden en symbolen

Grond is het materiaal waaruit de bodem ofwel de aardlaag is opgebouwd. Het bestaat uit:



Voor de massa van grond per volume-eenheid wordt het symbool ρ gebruikt, uitgedrukt in $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$.

$$1 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3} = 1.000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} = 10 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-3}.$$

Soortelijke massa of soortelijke dichtheid

- ρ = soortelijke massa van de vaste delen per volume-eenheid
 ρ_m = idem van de minerale delen = $2,66 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$
 ρ_h = idem van de organische stof = $1,47 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$
 ρ_c = idem van de koolzure kalk = $2,72 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ (zuiver CaCO_3)
 ρ_w = idem van het water bij 4°C = $1 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$

Voor een willekeurige grond is volgens de formule van *Boekel* (1961)

$$\rho = \frac{100}{\frac{H}{1,47} + \frac{100-H}{2,66}} \quad \text{of} \quad \frac{100}{0,3H + 38} \quad (4.2.1)$$

$$H = 100 f_h$$

f_h = massa fractie organische stof van de vaste delen

Volumedichtheid of volumieke massa

- ρ_d = massa van grond per volume-eenheid (droog volumegewicht of -dichtheid) in natuurlijke toestand na droging bij 105°C

$$\rho_d = \frac{m}{v}, \quad m = \text{droge massa}, \quad v = \text{volume}$$

- ρ_{dm} = idem van minerale delen

- ρ_{dh} = idem van organische stof

$$\rho_d = \rho_{dm} + \rho_{dh}$$

- ρ_z = idem van verzadigde grond in natuurlijke toestand

- ρ_v = idem van grond in veldvochtige toestand

- $m_w \cdot \rho_w$ = massa van water per volume-eenheid bij grond in natuurlijke toestand

$$\rho_z \text{ en } \rho_v = \rho_d + m_w \cdot \rho_w$$

Als alle poriën gevuld zijn met water kan ρ_z worden afgeleid van ρ_d volgens de formule:

$$\rho_z = \rho_d + \left(1 - \frac{\rho_d}{\rho}\right) \rho_w \quad (4.2.2)$$

$$\text{De poriënfractie } \Phi_p \text{ of } \varepsilon \text{ of } V_p = 1 - \frac{\rho_d}{\rho}$$

ρ_d is afhankelijk van het organisch stofgehalte en de pakkingsdichtheid van de vaste delen. Deze kan globaal variëren van $80 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ bij slap veen in de ondergrond tot $300 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ in dichte toestand.

De dichtheid van de grond (ρ_d) in onverzadigde toestand wordt meestal direct bepaald met Kopecki-ringen van 100 cm³ inhoud (volumebemonstering).

Beneden het grondwater (verzadigde toestand) kunnen ρ_d en ρ_z ook worden bepaald via massabemonstering.

De totale massa = massa vaste delen + massa water

$$m_t = m_s + m_w$$

Het totale volume = volume vaste delen + volume water

$$v_t = v_s + v_w$$

$$v_t = \frac{m_s}{\rho} + \frac{m_w}{\rho_w}$$

$\rho_w = 1$ en ρ is te berekenen volgens formule 4.2.1 wanneer f_h is bepaald

dan:

$$\rho_d = \frac{m_s}{v_t} = \frac{m_s}{\frac{m_s}{\rho} + \frac{m_w}{\rho_w}} \quad (4.2.3)$$

$$\rho_z = \frac{m_t}{v_t} = \frac{m_t}{\frac{m_s}{\rho} + \frac{m_w}{\rho_w}} \quad (4.2.4)$$

Volume fractions

Voor volume fractions (volume percentages) wordt het symbool Φ gebruikt.

$$\Phi_s = \text{volume fractie van vaste delen} \quad \Phi_s = \frac{\rho_d}{\rho}$$

$$\Phi_m = \text{volume fractie van minerale delen} \quad \Phi_m = \frac{\rho_{dm}}{m}$$

$$\Phi_h = \text{volume fractie organische stof} \quad \Phi_h = \frac{\rho_{dh}}{\rho_h}$$

$$\Phi_w \text{ of } \theta = \text{volume fractie water}$$

$$\Phi_g = \text{volume fractie lucht (gas)}$$

$$\Phi_p \text{ of } p \text{ of } V_p \text{ of } \varepsilon \text{ of } n = \text{volume fractie poriën} \quad \Phi_p = 1 - \frac{\rho_d}{\rho}$$

Massafracties

Voor massa-fracties wordt het symbool f gebruikt.

- f_h = fractie organische stof (humusgehalte)
- f_m = fractie minerale delen (gehalte minerale delen)
- f_c = fractie kalk (kalkgehalte)
- f_L = fractie lutum van vaste delen (lutumgehalte)
- f_{Lm} = fractie lutum van minerale delen (lutumfractie)
- $f_m = 1 - f_h$ bij vaste delen zonder kalk
- $f_m \cdot \rho_d = \rho_{dm}$ en $f_h \cdot \rho_d = \rho_{dh}$

Watergetal

Het watergetal is de verhouding van massa water tot de massa van vaste delen, aangeduid met het symbool w . Het in het verleden wel gebruikte A -cijfer is gelijk aan $100 w$.

w_{sat} = watergetal van grond in verzadigde toestand.

Het watergetal wordt meestal direct bepaald door massabemonstering.

$$w = \frac{m_w}{m_s} \quad (\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1})$$

Voor grond in onverzadigde toestand waarbij ρ_d en f_h zijn bepaald via volumebemonstering, is w_{sat} te berekenen volgens formule:

$$w_{\text{sat}} = \frac{(1 - \frac{\rho_d}{\rho}) \rho_w}{\rho_d} \quad \text{of} \quad w_{\text{sat}} = \frac{\Phi_p \cdot \rho_w}{\rho_d} \quad (4.2.5)$$

Poriëngetal

Het poriëngetal p of e is de verhouding van het volume poriën tot het volume van vaste delen:

$$p = \frac{\Phi_p}{\Phi_s} \quad \text{of} \quad \frac{1 - \Phi_s}{\Phi_s} \quad (4.2.6)$$

4.3. Ophoging en zetting

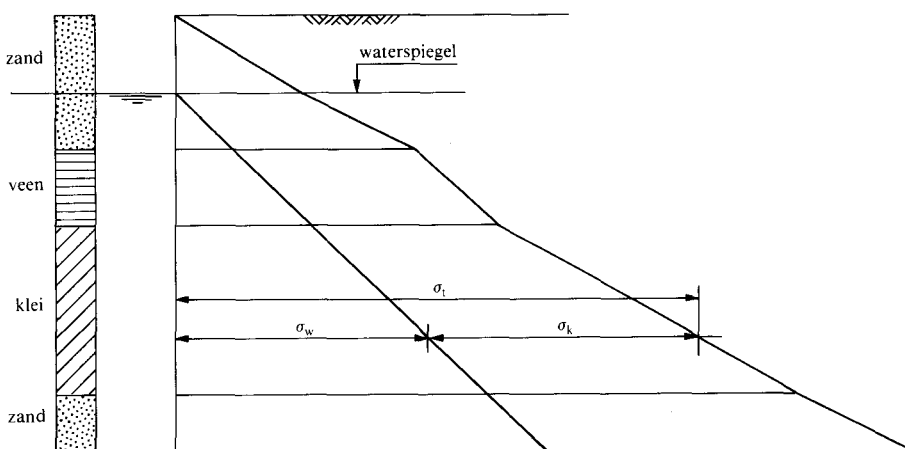
4.3.1. Grond-, water- en korrelspanning

Ophoging betreft een kunstmatige verhoging van het terreinoppervlak met grond van elders. Ophoging van terreinen met een slappe, samendrukbare ondergrond heeft tot gevolg dat het oorspronkelijke bodemprofiel wordt samengedrukt door de opgebrachte belasting. Hierdoor zakken het oorspronkelijke maaiveld en de opgebrachte laag. Dit betreft een grondmechanisch proces, algemeen als *zetting* (Z_z) aangeduid.

Bij zettingsberekeningen onderscheidt men:

- grondspanning* (σ_t), de drukkracht per eenheid van oppervlakte die een laag grond door eigen gewicht op de daaronder gelegen laag uitoefent;
- waterspanning* (σ_w), de drukkracht van het water op een bepaald vlak of grondlaag, gerekend vanaf het grondwaterniveau. Deze kracht is alzijdig. Boven het grondwater is σ_w negatief. Bij zettingsberekeningen wordt de negatieve σ_w -waarde boven het grondwater meestal buiten beschouwing gelaten;
- korrelspanning* (σ_k), de reactiekracht van de grondspanning en de waterspanning.

$$\sigma_k = \sigma_t - \sigma_w, \text{ zie figuur 4.3.1.}$$



Figuur 4.3.1. Verloop van grondspanning (q_t), korrelspanning (q_k) en waterspanning (q_w) in het terrein.

De spanningen of drukkrachten worden uitgedrukt in kPa.

$1 \text{ kPa} = \text{kN} \cdot \text{m}^{-2}$. 1 kPa komt overeen met $100 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ of $10 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2}$, dus $1 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} = 0,1 \text{ kPa}$ en $1 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} = 0,01 \text{ kPa}$.

4.3.2. Berekening van zetting volgens Terzaghi

Bij ophoging van een in horizontale richting uitgestrekt terrein kan een te verwachten zetting berekend worden met de formule van Terzaghi:

$$Z_z = \frac{d}{c} \ln \frac{\bar{\sigma}_{kl} + \Delta\sigma_k}{\bar{\sigma}_{kl}} = \frac{d}{c} \ln \frac{\bar{\sigma}_{k2}}{\bar{\sigma}_{kl}} \quad \text{of} \quad \frac{\Delta d}{d} = \frac{1}{c} \ln \frac{\bar{\sigma}_{k2}}{\bar{\sigma}_{kl}} \quad (4.3.1)$$

Z_z = zakking als gevolg van zetting (m)

d = dikte van samendrukbare laag (m)

c = constante voor samendrukbaarheid van de betreffende laag

$\bar{\sigma}_{kl}$ = gemiddelde oorspronkelijke korrelspanning in de samendrukbare laag (kPa)

$\Delta\sigma_k$ = toename van korrelspanning (Pa)

$$\bar{\sigma}_{kl} + \Delta\sigma_k = \bar{\sigma}_{k2}$$

$$\bar{\sigma}_{kl} = \frac{\sigma_{kb} + \sigma_{ko}}{2}$$

σ_{kb} en σ_{ko} zijn de korrelspanning aan de bovenkant, respectievelijk aan de onderkant van de samendrukbare laag.

Bij ophoging $\Delta\sigma_k = d_o \cdot \rho_v \cdot g$ of $d_o \cdot \rho_x \cdot g$

d_o = dikte van de opgebrachte laag (m)

σ_v en σ_z = massa van de opgebrachte laag per volume-eenheid in veldvochtige resp. in verzadigde toestand ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)

g = versnelling van zwaartekracht ($\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$)
($g = 9,8$ of afgerond $g \cong 10$)

Meestal wordt ρ_z gebruikt vanwege de maximaal mogelijke belasting. Hetzelfde geldt voor de berekening van σ_t van het oorspronkelijke profiel.

De massa van grond in verzadigde toestand wordt direct of indirect bepaald via bemonsteringen

boven het grondwater : $\sigma_k = \rho_z \cdot d \cdot g$

beneden het grondwater : $\sigma_k = \rho_z \cdot d \cdot g - \rho_w \cdot d \cdot g$

σ_w wordt gemeten in peil- of potentiaalbuizen. De constante c wordt op een grondmechanisch laboratorium bepaald aan ongeroerde monsters. De c -waarden kunnen sterk variëren, afhankelijk van de grondsoort en de dichtheid. Volgens de formule van Terzaghi is de zetting rechtevenredig met de laagdikte van de samendrukbare laag en omgekeerd evenredig met de samendrukbaarheids-constante.

Voorbeeld van zettingsberekening

Tabel 4.3.1 geeft een voorbeeld van de methode van berekening van de zetting volgens de formule van Terzaghi naar Van Smaalen (1982).

Tabel 4.3.1. Voorbeeld van zettingsberekening met de formule van Terzaghi. Spanningen in kPa.

Profiel	Diepte	d	ρ_z	c	σ_t	$\bar{\sigma}_t$	σ_w	$\bar{\sigma}_w$	$\bar{\sigma}_{kl}$	$\bar{\sigma}_{k2}$	Z_z
	(m)	(m)	(kg·m ⁻³)		(kPa)						(m)
	0						- 4				
klei		0,8	1.600	12		6,4		0	6,4	51,4	0,14
	0,8				12,8		4				
veen		3,2	1.100	7		30,4		20	10,4	55,4	0,77
	4,0				48,0		36				
zand											
										Totaal	0,91

Het betreft een profiel van 0,8 m klei op veen met een zandondergrond op 4 m diepte. Het grondwaterniveau bevindt zich op 0,4 m -mv. Het wordt opgehoogd met 2,5 m zand.

Hierbij $\rho_z = 1.800 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ en $\Delta\sigma_k = 2,5 \text{ m} \times 1.800 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} \times 10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} = 45 \text{ kPa}$.

Bij $\Delta d = 0,91 \text{ m}$ en een grondwaterstand van 0,4 m beneden het oorspronkelijke maaiveld, zakt een deel van de opgebrachte laag na het bereiken van een hydrostatisch evenwicht beneden het grondwater.

Boven het grondwater blijft: $2,5 + 0,4 - 0,91 = 1,99 \text{ m}$. De zakking van het opgebrachte zand beneden het grondwater bedraagt dan $2,5 - 1,99 = 0,51 \text{ m}$. Hierdoor neemt $\Delta\sigma_k$ van 45 kPa af met 5,1 kPa tot 39,9 kPa. Dit betekent dat in feite een zetting van 0,91 m optreedt bij $\Delta\sigma_k = 39,9 \text{ kPa}$.

Omdat σ_{k2} verandert tijdens de zetting, zijn iteratieberekeningen noodzakelijk voor verschillende zanddikten. De uitkomsten worden grafisch uitgezet in een lastzakkingdiagram, zie par. II. 4.3.4, zodat men de benodigde zanddikte kan bepalen om een gewenste hoogte te bereiken.

In de formule van Terzaghi wordt geen rekening gehouden met de factor tijd. Wil men deze factor erin betrekken, dan wordt de formule van Koppejan gebruikt.

4.3.3. Berekening van zetting volgens Koppejan

De zetting verloopt aanvankelijk snel en neemt daarna geleidelijk af. Het verloopt logaritmisch met de tijd. Men onderscheidt een primaire en een seculaireperiode, zie formule Koppejan.

$$\Delta d = d \left(\frac{1}{c_p} \text{ of } \frac{1}{c_s} \log t \right) \ln \frac{\bar{\sigma}_{kl} + \Delta\sigma_k}{\sigma_{kl}}$$

(4.3.2)

- c_p

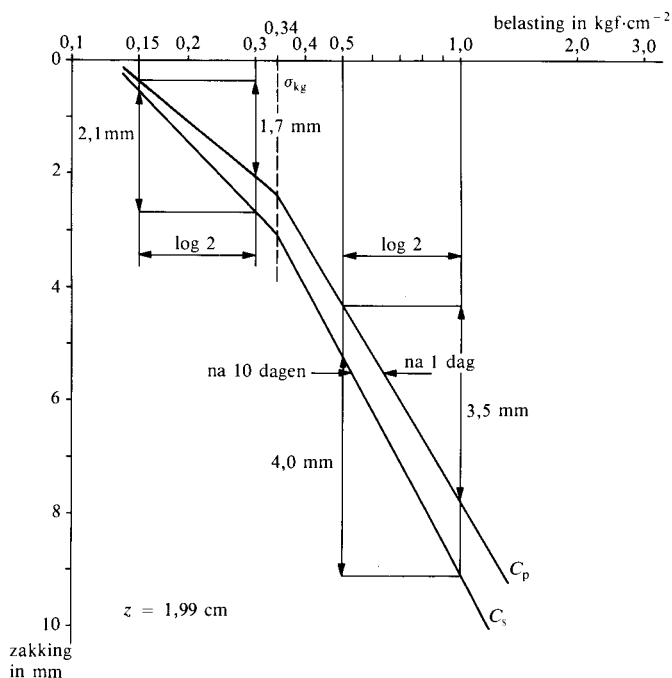
= samendrukkingsconstante in de primaire periode
- c_s

= samendrukkingsconstante in de seculaire periode
- t

= tijd in dagen, meestal $\log t = 3$ of 4 (1.000 resp. 10.000 dagen)

Zandgrond heeft geen seculair effect, zodat in dit geval de formule van Terzaghi van toepassing blijft.

Bij bepaling van de last-zakkinglijnen in een diagram volgens proeven waaruit de parameters c_p en c_s kunnen worden bepaald, komt meestal een knik voor, zie figuur 4.3.2.



Figuur 4.3.2. Afleiding van c_p en c_s uit samendrukkingsproef.

Het knikpunt geeft een grensspanning (σ_{kg}) aan, die eerst overschreden moet worden alvorens een sterke zetting optreedt. Voor het traject tot aan de grensspanning wordt een andere c -waarde berekend, die aanzienlijk groter is dan de c -waarde voorbij de grensspanning. Rekening houdend met de tijdsfactor en een zekere grensspanning wordt de zettingsformule:

$$\Delta d = d \left\{ \left(\frac{1}{c'_p} + \frac{1}{c''_s} \log t \right) \ln \frac{\bar{\sigma}_{kg}}{\sigma_{kl}} + \left(\frac{1}{c'_p} + \frac{1}{c''_s} \log t \right) \ln \frac{\bar{\sigma}_{k2}}{\sigma_{kg}} \right\} \quad (4.3.3a)$$

c'_p en c'_s	= samendrukkingsconstante voor de primaire respectievelijk de seculaire periode voor de zetting tot de grensspanning (σ_{kg})
c''_p en c''_s	= samendrukkingsconstante voor de zetting voorbij de grensspanning
σ_{k1}	= gemiddelde korrelspanning vóór belasting (kPa)
σ_{k2}	= gemiddelde korrelspanning na belasting (kPa)
σ_{kg}	= grensspanning (kPa)

Bij een belastingstoename kleiner dan tot aan de grensspanning, vervalt het tweede lid van formule 4.3.3a en wordt σ_{kg} in het eerste lid $\sigma_{kl} + \Delta\sigma_k$.

Hierbij zij opgemerkt dat er algemeen een zeer grote spreiding bestaat ten aanzien van de gemiddelde waarde.

In tabel 4.3.2a is $\frac{1}{c_1}$ en $\frac{1}{c_2}$ berekend volgens de formule van Keverling Buisman.

$$\frac{1}{c_1} = \frac{1}{c'_p} + \frac{1}{c'_s} \log t \tag{4.3.3b}$$

en

$$\frac{1}{c_2} = \frac{1}{c''_p} + \frac{1}{c''_s} \log t \tag{4.3.3c}$$

$$\log t = 4 = 10.000 \text{ dagen.}$$

Tabel 4.3.2a. De orde van grootte van diverse samendrukkingsconstanten van het gemiddelde droog-volume-gewicht (ρ_d) en van de gemiddelde grensspanning (σ_{kg}) naar een aantal gegevens van het *Fugro*, onderscheiden naar grondsoort.

Grondsoort	ρ_d in kN·m ⁻³	$\frac{1}{c'_p}$	$\frac{1}{c'_s}$	$\frac{1}{c'_p}$	$\frac{1}{c''_s}$	$\frac{1}{c_1}$	$\frac{1}{c_2}$	σ_{kg} in kPa
veen	1,3	0,03	0,005	0,20	0,020	0,05	0,28	11
kleih. veen	3	0,03	0,010	0,09	0,025	0,07	0,19	17
zand. veen	5	0,03	0,016	0,04	0,025	0,09	0,14	62
venige klei	7	0,03	0,006	0,09	0,015	0,05	0,15	32
klei	9	0,03	0,005	0,07	0,012	0,05	0,12	28
zavel	11,5	0,02	0,003	0,05	0,010	0,03	0,09	56
kleih. zand	15	0,005	0,001	0,015	0,001	0,01	0,02	65

In tabel 4.3.2b is $\Phi_p = 90$ te vergelijken met een veengrond, $\Phi_p = 75$ met kleihoudend veen en $\Phi_p = 60$ met een zavelgrond. Alle gegevens in tabel 4.3.2a en 4.3.2b hebben betrekking op grond beneden grondwater.

Tabel 4.3.2b. De orde van grootte van diverse samendrukkingsconstanten in afhankelijkheid van poriën (Φ_p) bij IJsselmeersedimenten naar gegevens van *De Glopper* (1973).

Φ_p	$\frac{1}{c'_p}$	$\frac{1}{c'_s}$	$\frac{1}{c''_p}$	$\frac{1}{c''_s}$	$\frac{1}{c_1}$	$\frac{1}{c_2}$
90	0,05	0,016	0,21	0,028	0,11	0,32
75	0,03	0,010	0,13	0,018	0,07	0,20
60	0,01	0,004	0,05	0,007	0,03	0,08

Volgens *De Glopper* (1973) bestaat er bij niet gerijpte, met water verzadigde sedimenten in de IJsselmeerpolders een lineair verband tussen Φ_p in volumepercenten en de samendrukkingsconstanten c'_p , c'_s , c''_p en c''_s van formule 4.3.3a.

$$\frac{1}{c'_p} = 0,0012 \phi_p - 0,06 \quad (4.3.4a)$$

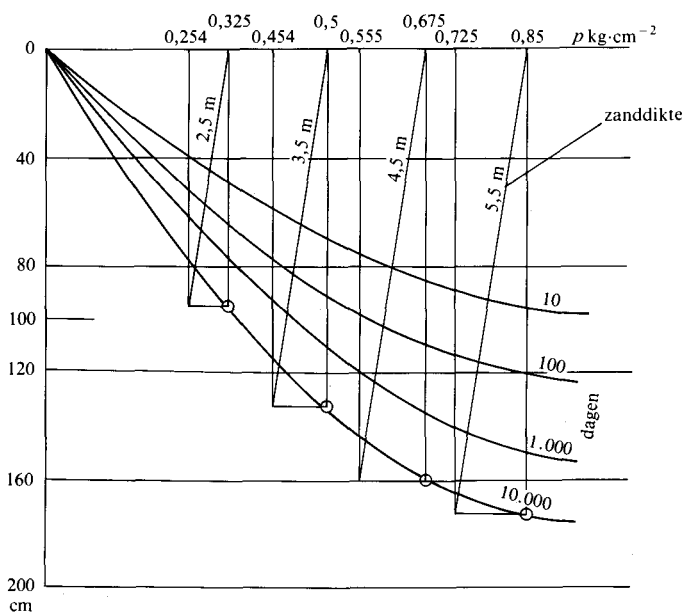
$$\frac{1}{c'_s} = 0,0004 \phi_p - 0,02 \quad (4.3.4b)$$

$$\frac{1}{c''_p} = 0,0052 \phi_p - 0,26 \quad (4.3.4c)$$

$$\frac{1}{c''_p} = 0,0007 \phi_p - 0,35 \quad (4.3.4d)$$

4.3.4. Berekening van netto-ophoging

Bij zettingsberekeningen dient men rekening te houden met het verschijnsel dat een deel van de opgebrachte laag als gevolg van zetting beneden het grondwater kan zakken. Hierdoor neemt σ_k weer af en is Δd kleiner dan in eerste instantie wordt berekend. Om iteratieberekeningen te besparen berekent men dan de zetting voor verschillende diktes van ophoging en zet de berekende waarden uit in een lastzakingsdiagram, waarna een vloeiende lijn door deze punten en de oorsprong wordt geconstrueerd, zie figuur 4.3.3.



Figuur 4.3.3. Lastzakingslijnen voor verschillende belastingsduur en methode voor de bepaling van de vereiste ophoging om na een zekere tijd een bepaalde hoogte te verkrijgen (Huizinga, 1969).

Omdat σ_k afneemt met 0,1 kPa per cm zetting beneden het grondwater, kunnen de schuine lijnen in figuur 4.3.3 worden geconstrueerd die het verband geven tussen $\Delta\sigma_k$ en de zetting bij een gegeven bezandingsdikte. Men kan met deze methode tevens de vereiste zanddikte bepalen om een gewenste hoogte te bereiken, zie Willet (1964).

4.3.5. Berekening van zetting bij veen volgens Fokkens

Volgens de methode van Fokkens (1970) kan voor veengrond ($H > 30$) beneden de maximale diepte van het grondwater de c -waarde in formule 4.3.1 (Terzaghi) worden afgeleid van de verhouding van het water- en het organische-stofgehalte bij 100 g vaste delen volgens de formule:

$$c = \frac{25,3 (A + 0,62H + 38) H/A}{A} \quad (4.3.5)$$

A = g water per 100 g vaste delen

$A = 100w_{\text{sat}}$

H = g organische stof per 100 g vaste delen

$H = 100f_h$

A/H = g water per g organische stof

Fokkens gaat uit van $\rho_h = 1$ in plaats van $\rho_h = 1,47$ volgens Boekel (formule 4.2.1), zodat

$$\rho = \frac{100}{0,62 H + 38} \quad \text{in plaats van} \quad \frac{100}{0,3 H + 38}$$

De term $A + 0,62H + 38$ betreft het totale volume (v_t) van 100 g vaste delen in verzadigde toestand.

Volgens Fokkens, zie figuur 4.3.4, bestaat de volgende relatie tussen A/H of w_{sat}/f_h :

$$A/H = \frac{1}{0,0395 \ln \bar{\sigma}_{kl} - 0,066} \quad (4.3.6)$$

$\bar{\sigma}_{kl}$ of p in $\text{g} \cdot \text{cm}^{-2} = 0,1 \text{ kPa}$

De zetting is te berekenen volgens de formule:

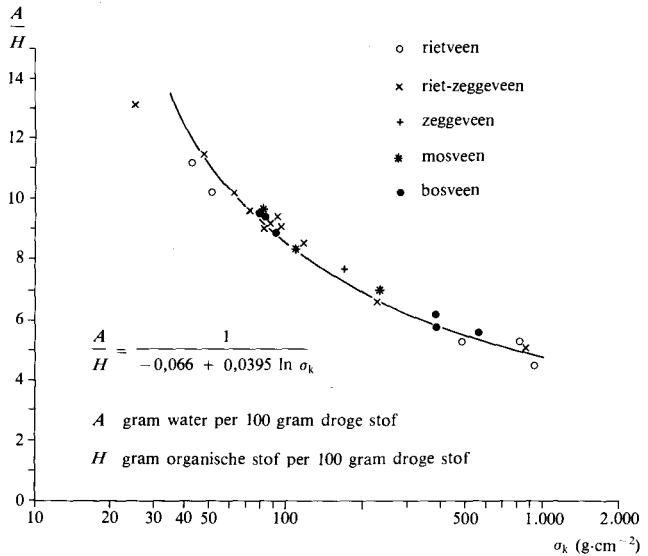
$$\frac{\Delta d}{d} = \frac{w_{\text{sat1}} - w_{\text{sat2}}}{w_{\text{sat1}} + \frac{100}{\rho}} \quad (4.3.7)$$

w_{sat1} en f_h (oorspronkelijke toestand) worden meestal bepaald via grondmonsters. Dan is $\bar{\sigma}_{kl}$ te berekenen volgens formule 4.3.6. Vervolgens wordt w_{sat2} berekend, eveneens met formule 4.3.6, waarin:

$$\bar{\sigma}_{k2} = \bar{\sigma}_{kl} + \Delta\sigma_k$$

Figuur 4.3.4.

Het verband tussen
g water per g organische
stof (A/H) en de korrel-
spanning (σ_k) bij
veengrond.



Voorbeeld van zettingsberekening

De zettingsberekening toegepast op de veenlaag van het profiel in tabel 4.3.1, geeft het volgende resultaat.

Gegeven: $\rho_z = 1.100 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ $\bar{\sigma}_{kl} = 10,4 \text{ kPa}$
 $d = 3,2 \text{ m}$ $\Delta\sigma_k = 45 \text{ kPa}$ $\sigma_{k2} = 55,4 \text{ kPa}$
 $f_h = 0,6$ dan is volgens formule 4.2.1: $\rho = 1790 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$

$$\rho_d = 200 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} \quad \text{en} \quad \Phi_p = 1 - \frac{\rho_d}{\rho_z} = 0,89$$

Berekening: volgens formule 4.2.5 $w_{\text{sat1}} = 4,45$

volgens formule 4.3.6 $w_{\text{sat2}} = 5,4 f_h = 3,24$

volgens formule 4.3.7 $\frac{\Delta d}{d} = 0,24$

$$\Delta d = 0,77 \text{ m}$$

Met de formule van Terzaghi (formule 4.3.1) werd voor de veenlaag eveneens een zetting berekend van 0,77 m met $c = 7$, volgens tabel 4.3.1.

Volgens formule 4.3.5 van Fokkens werd een waarde berekend van $c = 4$. Dit is een veel voorkomende waarde bij veengronden.

Een voordeel van de zettingsberekening met de methode Fokkens ten opzichte van Terzaghi is de bepalingmethode. Bij Fokkens kan het gehele profiel worden bemonsterd en de c -waarde op eenvoudige wijze worden berekend, in tegenstelling met de grondmechanische methode. Deze methode is alleen toepasbaar bij veengrond ($H > 30$) en waarbij $\bar{\sigma}_{k2} > \bar{\sigma}_{kg}$, dus bij een grote belastingtoename.

4.3.6. Literatuur

- Boekel, P., 1961.
De bepaling van het soortelijk gewicht van grond. Rp. IX. Instit. voor Bodemvruchtbaarheid, Groningen.
- Eppink, L. en R.H.A. van Duin, 1983.
Verandering van de maaiveldsligging. Bodemtechniek, deel D. Landbouw Hogeschool, Vakgroep Cultuurtechniek, Wageningen.
- Fokkens, B., 1970.
Berekening van de samendrukking van veenlagen uit het gehalte aan organische stof en water. De Ingenieur, Bouw- en waterbouwk. 82(13): p.B 23-28.
- Glopper, R.J. de, 1973.
Subsidence after drainage of the deposits in the former Zuiderzee and in the brackish and marine forelands in the Netherlands. Van Zee tot Land nr. 50. Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders, Lelystad.
- Huizinga, T.K., 1969.
Grondmechanica. 4e druk, Agon Elsevier.
- Min. van Landbouw en Visserij, in voorbereiding.
Cursus Bodemkunde, Min. van Landbouw en Visserij, afd. Scholing.
- Smaalen, H. van, 1982.
Inleiding grondmechanica. Syllabus Coll. k 200-007. Landbouw Hogeschool, Weg- en Waterbouwkunde en Irrigatie, Wageningen.
- Veen, C. van der, 1968.
Grondmechanica.
- Willet, J.R., 1964.
Zettingsberekening in de cultuurtechniek. Tijdschr. Kon. Ned. HeideMij, 75(6): p.628-634.

4.4. Zakking van maaiveld als gevolg van ontwatering

4.4.1. Zakkingscomponenten

Onder invloed van natuurlijke processen kan de hoogteligging van diverse gronden afnemen. Bij deze zakkingsprocessen die zich hoofdzakelijk voordoen bij veen- en slappe kleigronden, kan men verschillende componenten onderscheiden, namelijk:

1. *fysische rijping* of *krimp* (Z_k), een fysisch proces waarbij de bovengrond in dikte afneemt als gevolg van vochtonttrekking door verdamping via grond en gewas;
2. *oxydatie* (Z_o) van organische stof, een biochemisch proces dat in humeuze en venige gronden optreedt onder invloed van activiteiten van microflora en -fauna bij een gunstige lucht- en vochthuishouding. Hierbij verdwijnt organische stof en zakt het maaiveld;
3. *inklinking* van de ondergrond (Z_i), een grondmechanisch proces waarbij een bodemlaag wordt verdicht en samengedrukt door eigen gewicht als gevolg van verlaging van de waterspanning door ontwatering of waterwinning.

In de grondmechanica wordt het laatst genoemde proces als *zetting* aangeduid. Bodemkundigen gebruiken veelal de term *inklinking* of *klink* en verstaan hieronder uitsluitend de zakking als gevolg van ontwatering. Het omvat dan zowel de inklinking van de ondergrond (beneden het oorspronkelijke grondwaterniveau) plus de verandering in de bodem ten gevolge van oxydatie als krimp respectievelijk fysische rijping. Binnen dit kader heeft *inklinking* een betekenis die beperkt is tot de samendrukking van de bodemlaag beneden het oorspronkelijke grondwaterniveau door eigen gewicht, dus de grondmechanische component.

In het geval dat een veengrond wordt opgehoogd met veen van elders, bijvoorbeeld door opspuiten in verband met zandwinning, wordt het oorspronkelijk veenprofiel samengedrukt als gevolg van een opgebrachte belasting. Dit betreft een grondmechanisch proces aangeduid als *zetting* (Z_z).

Voor een dergelijk opgespoten terrein geldt:

$$Z = Z_z + Z_i + Z_k + Z_o$$

Z_z en Z_i kunnen berekend worden met grondmechanische formules, zie hfdst. II. 4.3.

4.4.2. Fysische rijping van kleigronden

Het specifiek of massiek volume

Bij zakkingsberekeningen voor drooggelegde gronden wordt door de Rijksdienst van de IJsselmeerpolders algemeen de grootte ν gebruikt. Dit betreft het specifiek of

massiek volume uitgedrukt in $\text{cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$. Het is de reciproke waarde van het droog-volume-gewicht ofwel van de volumieke massa: sv of $v_m = \frac{1}{\rho_d}$ in $\text{cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$.

De berekening van een te verwachten zakking als gevolg van fysische rijping op krimp is gebaseerd op de formule:

$$d_1 \times \rho_{d1} = d_2 \times \rho_{d2} \quad (4.4.1a)$$

of

$$d_1 : d_2 = v_{m1} : v_{m2} \quad (4.4.1b)$$

d_1 en d_2 = dikte van de laag in cm in oorspronkelijke toestand respectievelijk in eindtoestand
 v_{m1} en v_{m2} = massiek volume van vaste delen in oorspronkelijke respectievelijk in eindtoestand

v_{m1} wordt bepaald door bemonstering van de grond in oorspronkelijke toestand
 v_{m2} wordt afgeleid van vergelijkbare grond met hetzelfde lutum- en organische-stofgehalte in gerijpte toestand
 v_m wordt bij grond in onverzadigde toestand bepaald door volume-bemonsteringen

$$v_m = \frac{1}{\rho_d}$$

Bij grond in verzadigde toestand (beneden het grondwater) wordt v_m meestal bepaald via massabemonstering. Door bepaling van f_h kan ρ worden berekend volgens formule 4.2.1 en v_m volgens onderstaande formules.

$$v_m = \frac{v_t}{m_t} \quad v_t = \frac{m_w}{\rho} + \frac{m_s}{\rho} \quad \text{en} \quad m_t = m_w + m_s$$

Rijpingsfactor

Het massiek volume respectievelijk het waterhoudend vermogen is behalve van het lutum- en organische-stofgehalte afhankelijk van de rijpingstoestand.

Hiervoor heeft Zuur (1958) de rijpingsfactor n geïntroduceerd. Dit is voor grond in verzaadigde toestand tevens een dichtheidsfactor. Volgens Pons en Zonneveld (1965)

$$n = \frac{A - 0,2 R}{L + bH} \quad (4.4.2a)$$

Dit is afgeleid van de rijpingsformule van Zuur

$$A = n (L + bH) + c \quad (4.4.2b)$$

A = A-cijfer = watergehalte in g per 100 g vaste delen = $100 w_{\text{sat}}$
 L = lutumgehalte in g per 100 g vaste delen = $100 f_L$
 H = organische-stofgehalte in g per 100 g vaste delen = $100 f_h$
 R = gehalte van niet-colloïdalen minerale delen in g per 100 g vaste delen = $100 f_{m-L}$
 $L + H + R = 100 \text{ g}$

Het watergehalte van R kan afhankelijk van de dichtheid variëren van 16 tot 25 g en is gemiddeld 20 g.

In formule 4.4.2b: $c = 20$.

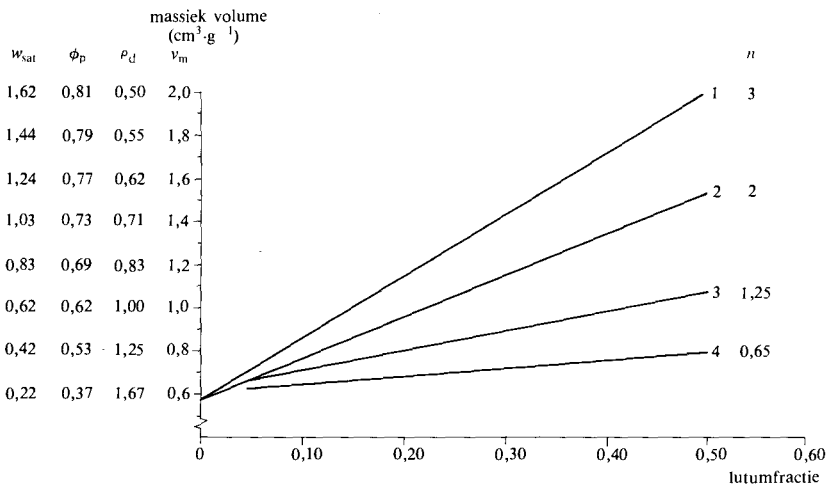
b = verhoudingsfactor van het waterhoudend vermogen van organische stof tot dat van lutum. Gemiddeld $b = 3$ à 4, soms hoger

n = rijpings- of dichtheidsfactor. Deze kan variëren van 0,6 à 0,7 bij een goed gerijpt sediment tot 2 bij ongerijpte drooggevalen gronden respectievelijk tot 3 bij onder water afgezette sedimenten. De n -factor geeft in feite het watergehalte (watergehalte) per g lutum aan, waarbij het watergehalte van organische stof is omgerekend op dat van lutum.

Er bestaat een lineair verband tussen v_m en L bij een bepaalde rijpingstoestand (n), zie figuur 4.4.1.

De lijnen voor verschillende rijpingsgraden hebben betrekking op:

- | | |
|---|-----------------|
| 1. Onderwaterafzetting | $n = 3$ |
| 2. Slikafzetting in getijdegebied | $n = 2$ |
| 3. Laag van 1,1 - 1,2 m —mv van een 100 jaar geleden drooggelegde polder | $n = 1,2 - 1,3$ |
| 4. Bouwvoor van dezelfde polders (evenals 3 een slikafzetting in een getijdegebied) | $n = 0,6 - 0,7$ |

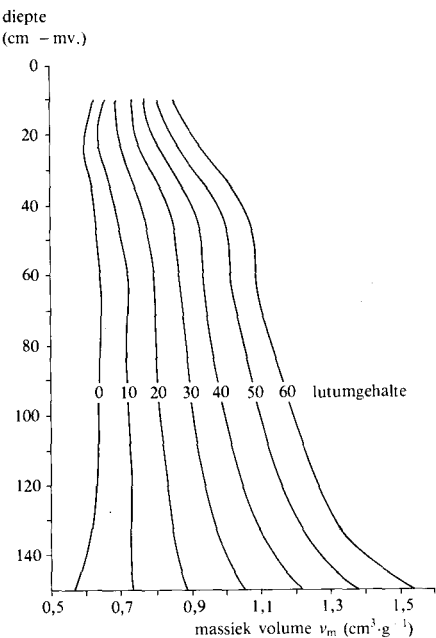


Figuur 4.4.1. Het verband tussen lutumgehalte en massiek volume bij verschillende rijpingsstadia. (De Glopper, 1973)

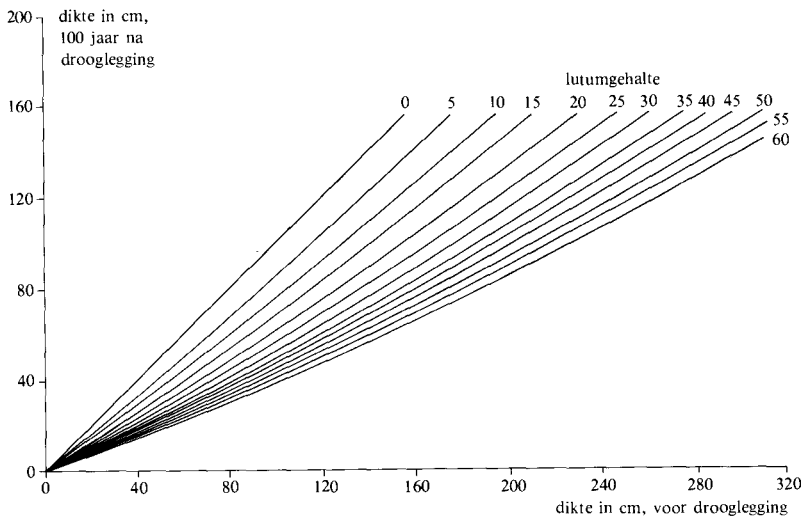
De met v_m corresponderende waarden voor w_{sat} , ϕ_p en ρ_d zijn naast de verticale as weergegeven.

Behalve van het lutumgehalte en de rijpingstoestand is de krimp afhankelijk van de diepte beneden maaiveld. Met afnemende invloed van de verdamping met de diepte, neemt ook de krimp af en de n -factor dus toe, evenals v_m , zie figuur 4.4.2.

Figuur 4.4.2.
Het verband tussen specifiek of massiek volume en in de diepte beneden maaiveld bij verschillende lutumgehalte in de Joh. Kerkhovenspolder, drooggelegd in 1875 (De Glopper, 1973).



Het rijpingsproces verloopt logaritmisch met de tijd. De dikte-afname van onderwaterse-dimenten is na 100 jaar drooglegging zoals in figuur 4.4.3 is weergegeven.



Figuur 4.4.3. *Het verband tussen de oorspronkelijke dikte en de dikte $\pm$ 100 jaar na drooglegging van onderwaterafzettingen in het IJsselmeer bij verschillend lutumgehalte (De Glopper, 1973).*

Tabel 4.4.1. Berekening van de verandering in dikte per laag van 10 cm voor een hoge kweldergrond van 25% lutum (De Glopper, 1973).

v_{m1}	Diepte voor rijping (cm)		Verandering in dikte			Diepte na rijping (cm)	v_{m2}
1,02	0,0 - 10,0	→	10,0 × $\frac{0,66}{1,02}$	= 6,47	→	0,0 - 6,47	0,66
0,96	10,0 - 15,12	←	3,53 × $\frac{0,96}{0,66}$	= 5,12	←	6,47 - 10,0	0,66
0,96	15,12 - 20,0	→	4,88 × $\frac{0,66}{0,96}$	= 3,37	→	10,0 - 13,37	0,66
0,86	20,0 - 28,62	←	6,63 × $\frac{0,86}{0,66}$	= 8,62	←	13,37 - 20,0	0,66
0,84	28,62 - 30,0	→	1,38 × $\frac{0,69}{0,84}$	= 1,13	→	20,0 - 21,13	0,69
0,84	30,0 - 40,0	→	10,0 × $\frac{0,69}{0,84}$	= 8,21	→	21,13 - 29,34	0,69
0,88	40,0 - 40,84	←	0,66 × $\frac{0,88}{0,69}$	= 0,84	←	29,34 - 30,0	0,69
0,88	40,84 - 50,0	→	9,16 × $\frac{0,705}{0,88}$	= 7,33	→	30,0 - 37,33	0,705
0,92	50,0 - 53,47	←	2,67 × $\frac{0,92}{0,705}$	= 3,47	←	37,33 - 40,0	0,705
0,92	53,47 - 60,0	→	6,53 × $\frac{0,71}{0,92}$	= 5,03	→	40,0 - 45,03	0,71
0,93	60,0 - 65,51	←	4,97 × $\frac{0,93}{0,71}$	= 6,51	←	45,03 - 50,0	0,71
0,93	65,51 - 70,0	→	4,49 × $\frac{0,725}{0,93}$	= 3,50	→	50,0 - 53,50	0,725
0,93	70,0 - 78,32	←	6,50 × $\frac{0,93}{0,725}$	= 8,32	←	53,50 - 60,0	0,725
0,93	78,32 - 90,80	←	10,0 × $\frac{0,93}{0,745}$	= 12,48	←	60,0 - 70,0	0,745
0,93	90,80 - 102,87	←	10,0 × $\frac{0,93}{0,77}$	= 12,07	←	70,0 - 80,0	0,77
0,93	102,87 - 114,50	←	10,0 × $\frac{0,93}{0,80}$	= 11,63	←	80,0 - 90,0	0,80
0,93	114,50 - 125,60	←	10,0 × $\frac{0,93}{0,84}$	= 11,10	←	90,0 - 100,0	0,84
0,93	125,60 - 136,17	←	10,0 × $\frac{0,93}{0,88}$	= 10,57	←	100,0 - 110,0	0,88
0,93	136,17 - 146,22	←	10,0 × $\frac{0,93}{0,925}$	= 10,05	←	110,0 - 120,0	0,925
0,93	146,22 - 156,22	←	10,0 × $\frac{0,93}{0,93}$	= 10,0	←	120,0 - 130,0	0,93
0,93	156,22 - 166,22	←	10,0		←	130,0 - 140,0	0,93
0,93	166,22 - 176,22	←	10,0		←	140,0 - 150,0	0,93

Voorbeeld van berekening van zakking

In tabel 4.4.1 wordt een voorbeeld gegeven van de berekening van een te verwachten zakking van het maaiveld, volgens de formule:

$$d_2 = d_1 \times \frac{v_{m2}}{v_{m1}} \quad (\text{cm})$$

De dikteafname wordt per laag van 10 cm berekend. Hierbij is v_{m2} het massiek volume van een vergelijkbaar profiel dat reeds 100 jaar is ontwaterd. v_{m2} neemt met de diepte beneden maaiveld toe.

Volgens tabel 4.4.1 neemt een oorspronkelijke dikte van 146 cm met 26 cm af tot 120 cm.

De krimp als gevolg van rijping kan naar Van Duin (1973), rekening houdende met de diepte voor en na rijping zoals in tabel 4.4.1, ook berekend worden via het watergetal (w_{sat}) volgens de formule:

$$\frac{\Delta d}{d} = \frac{w_{\text{sat}1} - w_{\text{sat}2}}{w_{\text{sat}1} + \frac{1}{\rho}} \quad (4.4.3a)$$

of via de dichtheid (ρ_d)

$$\frac{\Delta d}{d} = \frac{\rho_{d2} - \rho_{d1}}{\rho_{d2}} \quad (4.4.3a)$$

4.4.3. Het zakkingsproces bij veengronden

Slootpeil en grondwaterdiepte

Het polderpeil in veenweidegebieden is in de loop van de tijd regelmatig aangepast aan een optredende zakking van het maaiveld. Gedurende de laatste eeuw is het peil in vele polders 0,25 tot 0,5 m verlaagd. Hierbij streefde men naar handhaving van een peil van 0,2 tot 0,4 m -mv.

Onder deze omstandigheden is de draagkracht in de natte perioden zeer gering. In verband met een sterke intensivering en mechanisatie van de weidebedrijven wordt een diepere ontwatering gewenst met een slootpeil van circa 0,8 m -mv.

Verlaging van het polderpeil gaat gepaard met een verlaging van het grondwaterniveau en daardoor met een extra zakking van het maaiveld. Bepalend voor de mate van zakking is onder andere de diepte van de zomergrondwaterstand (h_{fz}).

Onder normale omstandigheden (geen sterke kwel of wegzijging) geldt voor veenweidegronden als vuistregel:

$$h_{fz} = 0,5 h_s + 40 \text{ cm} \quad (4.4.4)$$

h_{fz} = gemiddelde zomergrondwaterstand in cm -mv

h_s = sloot- of polderpeil in cm

Inklinking

De grondmechanische component van het zakkingsproces bij veengronden, dat is de inklinking van de ondergrond (Z_i) beneden de oorspronkelijke zomergrondwaterdiepte, is theoretisch te berekenen met grondmechanische formules, zie par. II. 4.3.2 tot en met par. II. 4.3.5.

Bij verlaging van het grondwater is de toename van de korrelspanning ($\Delta\sigma_k$) gelijk aan de verlaging van de opwaartse druk ($\Delta\sigma_k$). Door verlaging van het grondwater met 1 cm neemt de opwaartse druk af met $1 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2}$ ofwel met 100 Pa. Het omgekeerde geldt bij verhoging van het grondwater.

Bij deze berekeningen dient men evenals bij ophogingen rekening te houden met het verschijnsel dat een deel van de samendrukbare laag weer beneden het grondwater zakt, waardoor σ_w toe- en σ_k afneemt, zodat een geringere zakking optreedt dan in eerste instantie wordt berekend.

Onder bepaalde omstandigheden is Z_i te berekenen door vergelijking van de dichtheid van het veen van ingeklonken en vergelijkbare niet ingeklonken veenprofielen (*Schothorst*, 1967).

$$Z_i = d_1 \left(d_1 \times \frac{\rho_{dh1}}{\rho_{dh2}} \right) \quad (\text{cm}) \quad (4.4.5a)$$

of

$$Z_i = \frac{\rho_{dh2} - \rho_{dh1}}{\rho_{dh2}} \times 100 \quad (\%) \quad (4.4.5b)$$

d_1 = dikte van de veenlaag beneden het zomergrondwaterniveau in de oorspronkelijke toestand van profiel 1 (m)

ρ_{dh1} = gemiddelde dichtheid van de organische stof van laag d_1 , ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)

ρ_{dh2} = idem van laag d_2 beneden het zomergrondwaterniveau van het ingeklonken profiel 2

$\rho_{dh} = f_h \rho_d$

Voor twee verschillende veenprofielen werd volgens formule 4.4.5a een Z_i berekend als in tabel 4.4.2 is gegeven. Dit betreft de inklinking na 50 jaar in polder Mastenbroek en na 20 jaar in Twiskerpolder (*Schothorst*, 1967 en 1969).

Tabel 4.4.2. De inklinking (Z_i) van twee veenprofielen na een sterke verlaging van het grondwater.

Profiel	h_{n1} (m-mv)	h_{n2}	d_1 (m)	ρ_{dh1} ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	ρ_{dh2} ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	Z_i (m)
Mastenbroek	0,4	1,4	2	100	110	0,18
Twiske	0,4	1,8	2,8	90	110	0,51

Methode Halakorpi-Segeberg

Een te verwachten inklinking kan ook berekend worden volgens een empirische formule van Halakorpi-Segeberg (Segeberg, 1960).

$$Z_i = a \left(0,08 \times \frac{t_n}{1,2} + 0,066 \right) \quad (m) \tag{4.4.6a}$$

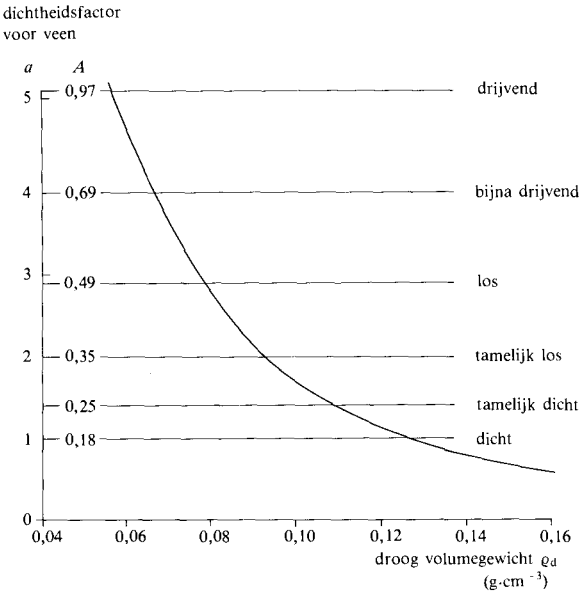
- a = factor voor dichtheid afhankelijk van het droge volumegewicht (ρ_d), zie figuur 4.4.2
- d = veendikte in m beneden het oorspronkelijk grondwaterniveau. Bij reeds eerder ontwaterde gronden komt de constante 0,066 te vervallen
- t_n = diepte van het grondwaterniveau of diepte van het gewenste grondwater-niveau in m – mv na zakking. $t_n = h_{t2} - Z$
- h_{t2} = diepte van het grondwaterniveau na verlaging in m ten opzichte van het oorspronkelijke maaiveld

Voor reeds ontwaterde gronden kan formule 4.4.6a vereenvoudigd worden doordat de constante 0,066 komt te vervallen tot

$$Z_i = 0,067 \times a \times d \times t_n \quad (m) \tag{4.4.6b}$$

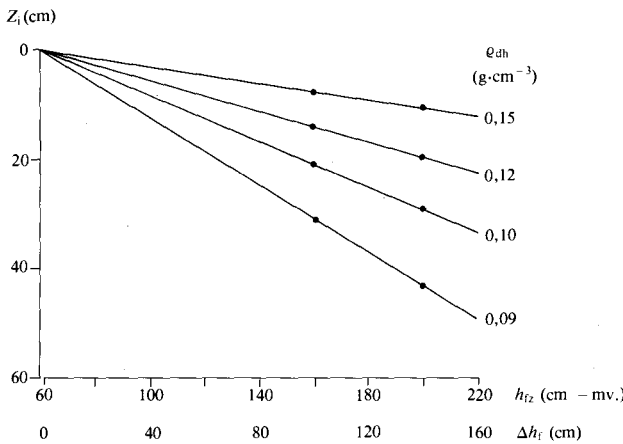
Voor de twee profielen van tabel 4.4.2 is Z_i eveneens berekend met formule 4.4.6b, waarbij de factor a is ontleend aan figuur 4.4.4. Voor het profiel in Mastenbroek werd met $a = 1,5$ en $t_n = 1,5$ een Z_i berekend van 0,21 m en voor het profiel in Twiske met $a = 2,2$ en $t_n = 1,3$ m een Z_i van 0,54 m.

Figuur 4.4.4.
Het verband tussen de dichtheidsfactor (a volgens Halakorpi, A volgens Ostromecki) en het volumegewicht (naar Segeberg, 1960).



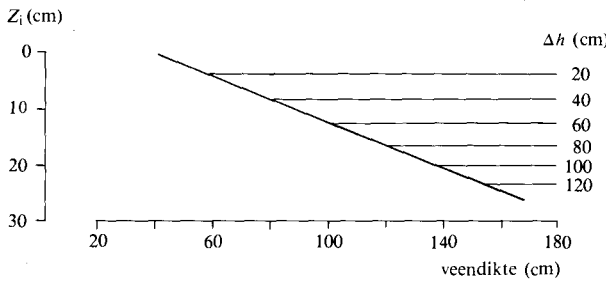
De inklinking als functie van verlaging van het grondwater, dichtheid van het veen en veendikte.

Met formule 4.4.6b en de gegevens van de profielen in tabel 4.4.2 is Z_i berekend voor verschillende dichtheden in afhankelijkheid van de grondwaterdiepte voor een veendikte van 2 m, zie figuur 4.4.5. Hieruit blijkt de sterke invloed van dichtheid van het veen op de inklinking.



Figuur 4.4.5. De inklinking als functie van de zomergrondwaterdiepte en de veendichtheid, bij een veendikte 2 m en een oorspronkelijk grondwaterdiepte van 0,6 m - mv.

Voor dunne veenlagen $d < \Delta h_f$ geldt $\Delta h_f = d$ omdat Z_i beperkt is tot de dikte van de veenlaag, zie figuur 4.4.6.

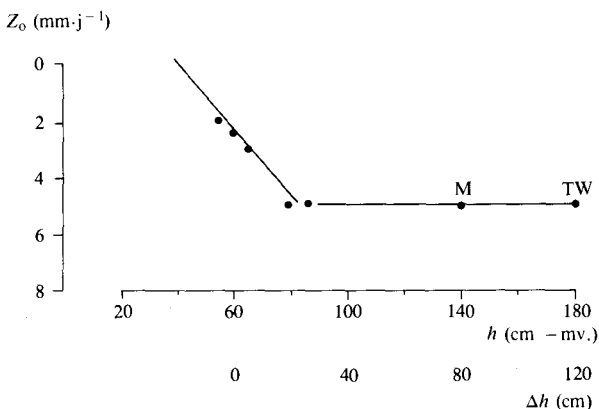


Figuur 4.4.6. De inklinking als functie van de veendikte en de verlaging van het zomergrondwaterniveau bij een veendichtheid $\rho_{dh} = 100 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ en een oorspronkelijke grondwaterdiepte van 0,6 m - mv in de zomer.

Oxydatie

Oxydatie (Z_o) is een min of meer continu verlopend proces. Oxydatieverliezen kunnen onder bepaalde omstandigheden worden berekend door:

- Vergelijking van de totale hoeveelheid organische stof aanwezig in vergelijkbare ondiep en reeds lang diep ontwaterde veenprofielen. In polder Mastenbroek en de Twiskepolder werd op deze wijze bij een zeer diepe ontwatering een gemiddeld oxydatieverlies berekend van circa 5 mm per jaar, zie figuur 4.4.7.



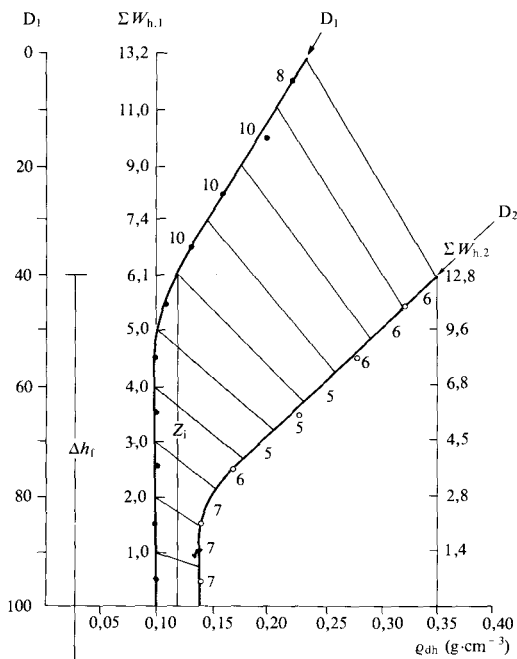
Figuur 4.4.7. De oxydatie als functie van de verlaging van het grondwater-niveau (M = Mastenbroek, TW = Twiske).

- Vergelijking van het gehalte aan minerale delen in de lagen boven het zomergrondwater-niveau ten opzichte van de lagen beneden het grondwater. Dit is slechts mogelijk bij uniforme veenprofielen zonder mariene of fluviale invloeden. In de polder Zegvelderbreek kon op deze wijze een totale zakking van circa 2 m, in de loop der eeuwen opgetreden, voor 85% door oxydatie en voor 15% door krimp worden verklaard (Schothorst, 1977).
- Afleiding van de opname van bodemstikstof door het gewas zonder stikstofbemesting. Bij een zomergrondwaterstand van 0,6 m -mv werd in het westelijk veenweidegebied volgens deze methode een gemiddeld verlies berekend van 2 mm per jaar. Door diepere ontwatering namen de oxydatieverliezen toe tot maximaal 6 mm per jaar, zie figuur 4.4.7.

Bij veengronden in gebruik als bouwland neemt Z_o toe tot circa 10 mm per jaar. Z_o is onafhankelijk van de veendikte. Behalve van vocht- en luchtgehalte is Z_o afhankelijk van temperatuur, zuurgraad (pH) en de koolstof-stikstofverhouding (C/N quotiënt). Het oxydatieproces verloopt in een subtropisch klimaat aanzienlijk sneller. Een lage pH en een hoog C/N quotiënt vertragen het proces.

Krimp

De krimp (Z_k) bij veengronden neemt evenals de fysische rijping bij kleigronden af met de diepte beneden maaiveld, zie profiel D_1 en D_2 in figuur 4.4.8.



Figuur 4.4.8. Het verloop van de krimp met de diepte beneden maaiveld van een ondiep ontwaterd veenprofiel ($h_f = 0,4$ m) zonder mineraal dek (D_1) en van hetzelfde profiel (D_2) na verlaging van h_f tot $1,1$ m-mv. De oorspronkelijke veendikte bedraagt 1 m.

Uitgaande van het oorspronkelijke veenprofiel D_1 kan men per laag van $0,1$ m vanaf de basis verbindingslijnen met profiel D_2 construeren met gelijke hoeveelheid organische stof. Hieruit kan de dikte-afname per laag van $0,1$ worden bepaald. Het oorspronkelijke veenprofiel van $0,98$ m dikte is tot $0,6$ m gereduceerd. Van de totale zakking van $0,38$ m is een deel toe te schrijven aan inklinking (Z_i). Bij $\rho_{dh1} = 100 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ en $\Delta h_f = D_1 - h_{f1} = 0,6$ m, volgt uit figuur 4.4.5 en 4.4.6:

$Z_i = 0,12$ m, zodat $Z_k = Z_t - Z_i = 0,26$ m.

Z_k kan in principe op dezelfde wijze worden berekend als bij de fysische rijping van kleigronden. In plaats van het specifiek of massiek volume (v_m) wordt meestal de volumieke massa (ρ_{dh}) gebruikt.

Bij ondiep ontwaterde, reeds lang in cultuur zijnde veengronden kan men de in het verleden opgetreden krimp berekenen volgens de formule:

$$Z_k = (d_2 \times \frac{\rho_{dh2}}{\rho_{dh1}}) - d_2 \quad (m) \quad (4.4.7.)$$

d_2 = actuele laagdikte (m)

ρ_{dh1} = dichtheid van organische stof in $kg \cdot m^{-3}$ beneden de maximale diepte van het grondwater

ρ_{dh2} = idem boven de maximale diepte van het grondwater

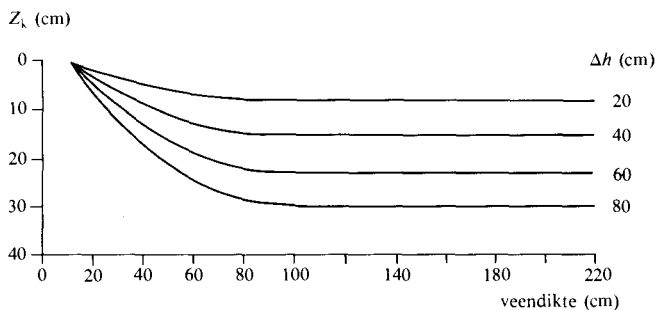
Met $d_2 = 0,1$ m kan men Z_k per laagdikte van 0,1 m en de totale krimp bepalen.

In het voorbeeld van figuur 4.4.8 wordt op deze wijze voor het ondiep ontwaterde profiel (D_1) een krimp berekend van 0,32 m.

Profiel D_2 betreft een sterk ingedroogd veenprofiel waarbij men kan stellen dat de maximale krimp is bereikt. Dit betreft *irreversibele* krimp.

Daarnaast bestaat *reversibele* krimp. Als gevolg van een verdampingsoverschot in de zomer krimpt de bovengrond maar zwelt weer op in een daarop volgende natte winter. Hierdoor kan het maaiveld bij klei op veengronden circa 4 cm en bij veengronden zonder mineraal dek circa 8 cm in hoogte fluctueren. Irreversibele krimp treedt voornamelijk op in droge zomers, speciaal na een sterke verlaging van het grondwaterniveau.

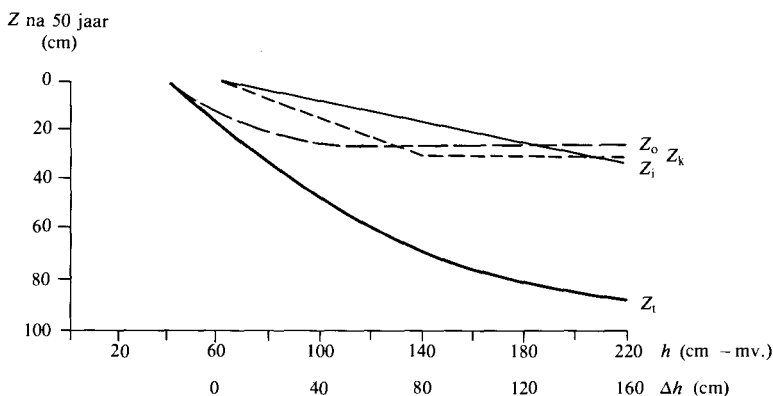
Bij gebruik als grasland is Z_k onafhankelijk van de veendikte voor zover deze meer dan 1 m bedraagt. Diepere lagen nemen uitsluitend in dikte af als gevolg van inklinking (Z_i). Bij veenlagen dunner dan 1 m is Z_k afhankelijk van de veendikte en de mate van verlaging van het grondwaterniveau, zie figuur 4.4.9.



Figuur 4.4.9. De krimp als functie van de veendikte en verlaging van het grondwaterniveau ten opzichte van een oorspronkelijke zomergrondwaterdiepte van 0,6 m –mv en een dichtheid (ρ_{dh}) van 100 $kg \cdot m^{-3}$ beneden 0,6 m –mv, bij een veenprofiel zonder minderaal dek.

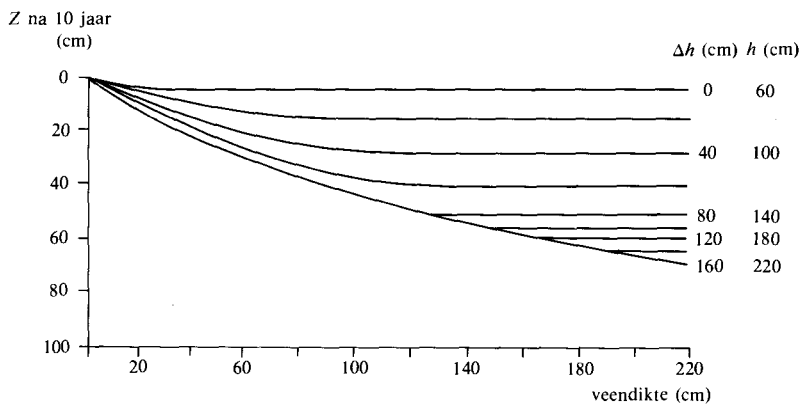
Totale zakking

Uitgaande van een veenprofiel zonder mineraal dek, een dikte > 2 m, een dichtheid van $\rho_{dh1} = 100 kg \cdot m^{-3}$ beneden een zomergrondwaterdiepte van 0,6 m –mv, verloopt de totale zakking afhankelijk van de verlaging van het grondwaterniveau in een periode van 50 jaar zoals in figuur 4.4.10 is weergegeven. Voor dezelfde periode is ook het verloop



Figuur 4.4.10. Het verloop van de totale zakking van het maaiveld (Z_t) en van de zakkingscomponenten afzonderlijk, als functie van de diepte van de zomergrondwaterstand in een periode van 50 jaar bij een veenprofiel (> 2 m) zonder minderaal dek. Z_i = inklinking, Z_o = oxydatie, Z_k = krimp ($\rho_{dh1} = 100 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$).

Figuur 4.4.11 geeft het verloop van de totale zakking voor een periode van 10 jaar met dezelfde uitgangstoestand als in figuur 4.4.10, als functie van veendikte en verlaging van het grondwaterniveau.

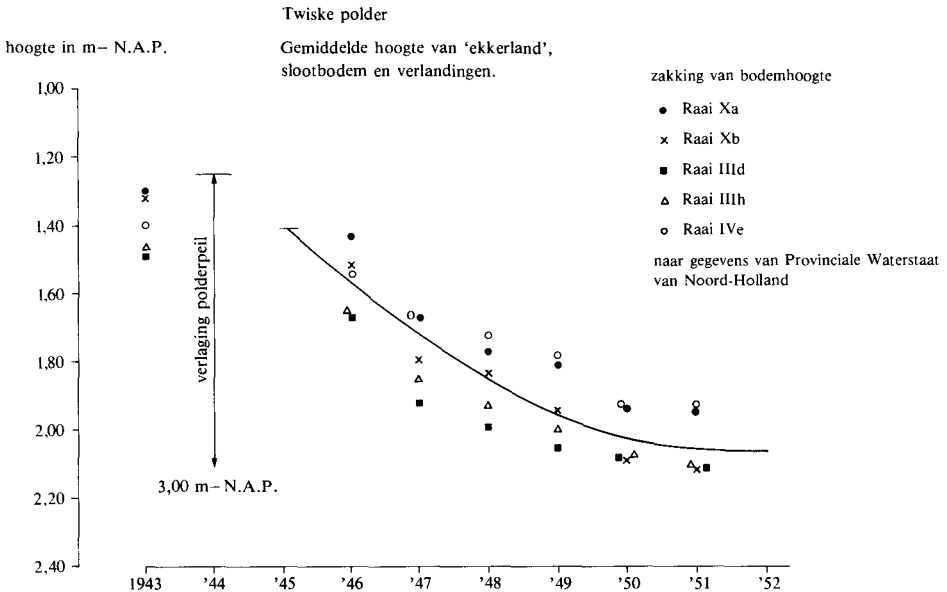


Figuur 4.4.11. Het verloop van de totale zakking (Z_t) van hetzelfde profiel als in figuur 4.4.10 na een periode van 10 jaar, als functie van veendikte en verlaging van het grondwaterniveau.

Naar gelang de dichtheid van het veen in de ondergrond meer of minder is dan $100 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$, neemt Z_i af respectievelijk toe evenals de totale zakking. Hetzelfde geldt voor Z_k in de bovengrond wanneer ρ_{dh} meer of minder is dan $200 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$, bij veen zonder mineraal dek. Bij aanwezigheid van een mineraal dek neemt afhankelijk van de dikte van dit dek de krimp eveneens af.

Zakking als functie van tijd

De zakking als gevolg van inklinking verloopt aanvankelijk snel en neemt daarna geleidelijk af, zie figuur 4.4.12, waarin $\Delta h_f = 1,4$ m. Na 4 jaar inclusief een droge zomer (1947) werd reeds 80% van de totale zakking bereikt. Dit betreft inklinking en krimp.



Figuur 4.4.12. Het verloop van de zakking in verband met de tijd in de Twiskepolder.

4.4.4. Literatuur

- Eppink, L. en R.H.A. van Duin, 1983.
Verandering van de maaiveldsligging. Bodemtechniek, deel D. Landbouw Hogeschool, Vakgroep Cultuurtechniek, Wageningen.
- Glopper, R.J. de, 1973.
Subsidence after drainage of the deposits in the former Zuiderzee and in the brackish and marine forelands in the Netherlands. Van Zee tot Land nr. 50. Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders, Lelystad.
- Pons, L.J. and J.S. Zonneveld, 1965.
Soil ripening and soil classification. Publ. 13. Int. Inst. for Land Recl. and Impr., Wageningen.
- Schothorst, C.J., 1967.
Bepaling van de componenten van de zakking na grondwaterstands daling. Landbouwk. Tijdschr. 79(11): p.402-411. Ook: Verspr. Overdr. 50, Instit. voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Wageningen.
- Schothorst, C.J., 1969.
Zakking van maaiveld in de Twiskepolder. Nota 506. Instit. voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Wageningen.

- Schothorst, C.J., 1975.
 Het zakkingsproces bij opgespoten veendepots. Cultuurtechn. Tijdschr. 14(5): p.171-184. Ook Meded. 151, Instit. voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Wageningen.
- Schothorst, C.J., 1977
 Subsidence of low moor peat soils in the western Netherlands. Geoderma 17: p.265-291. Ook Techn. Bull. 102, Instit. voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Wageningen.
- Schothorst, C.J., 1978.
 Het zakkingsproces bij ontwatering van de westelijke veenweidegronden. Landbouwk. Tijdschr. 90(6): p.167-175. Ook Verspr. Overdr. 217, Instit. voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Wageningen.
- Schothorst, C.J. 1982.
 De gevolgen van waterwinning en ontwatering bij veengronden in de Groeve (Dr.). Nota 1325. Instit. voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Wageningen.
- Schothorst, C.J., in voorbereiding.
 Cursus Bodemkunde. Min. van Landbouw en Visserij, afd. Scholing.
- Segeberg, H., 1960.
 Moorsackungen durch Grundwasserabsenkung und deren Vorausberechnung mit Hilfe empirischer Formeln. Zeitschrift für Kulturtechnik 1.3.
- Zuur, A.J., 1958.
 Bodemkunde der Nederlandse Bedijkingen en Droogmakerijen, deel C.

4.5. Verandering van reliëf

4.5.1. Algemeen

Naar de orde van grootte van hoogteverschillen in maaiveldligging wordt het volgende onderscheid gemaakt.

<i>Reliëf</i>	<i>Hoogteverschil</i>
macro-reliëf	tientallen meters
meso-reliëf	meters
micro-reliëf	decimeters

Het macro-reliëf betreft heuvel- en bergland.

Kartografie

Bij ingrepen betreffende het reliëf wordt gebruik gemaakt van:

- *hoogtecijferskaarten*, waarop de hoogte ten opzichte van een referentieniveau, meestal het NAP-niveau, is aangegeven;
- *hoogtelijnenkaarten*, waarop hoogtelijnen zijn geconstrueerd van gelijke hoogten met intervallen van bijvoorbeeld 0,2 m (*Van der Zwan e.a., 1966*).

Karakterisering

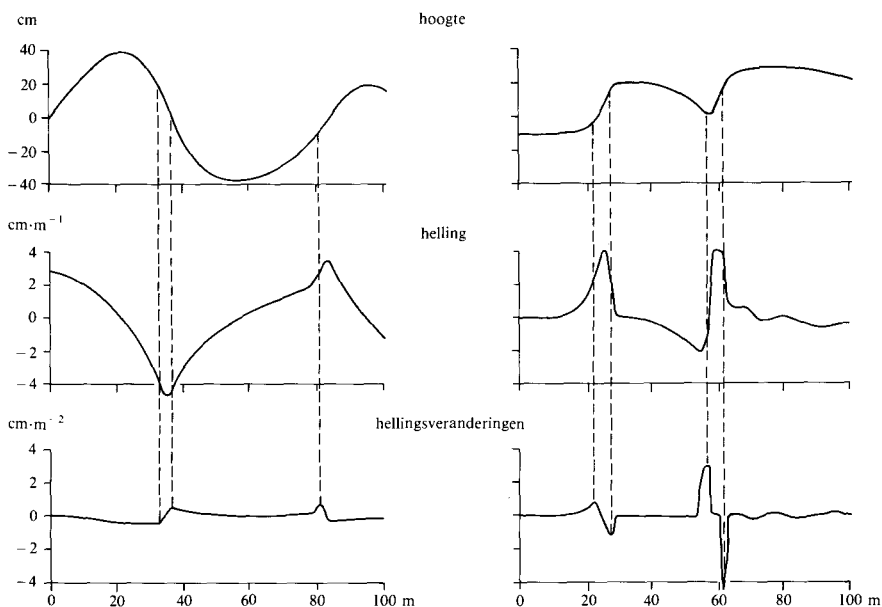
Het reliëf van een bepaald terrein kan gekarakteriseerd worden door de procentuele verdeling van verschillende hoogteklassen over de totale oppervlakte, opklimmend met bijvoorbeeld 0,2 m (hypsogrammen). De hypsogrammen geven slechts één aspect van het reliëf weer. Behalve door het hoogteverschil ten opzichte van het referentieniveau wordt de maaiveldligging bepaald door de helling, de *hellingshoek* of *hellingsgradiënt*. Dat is de maximale hoek die het terrein maakt met het horizontale vlak, uitgedrukt in graden, hoektangens, hoogteverschil per horizontale afstand of in procenten.

In bepaalde omstandigheden (heuvel- en bergland) is de *expositie-richting* of *hellingsrichting* van belang in verband met de noord-zuidrichting of met de gemiddelde windrichting.

In de praktijk is ook de *hellingsverandering* van betekenis.

De maaiveldligging kan horizontaal zijn, hellend, golvend, onregelmatig, bol, kruinig, pannig of hobbelig. Er kunnen sprongsgewijs hoogteverschillen optreden zoals bij terrassen, steilranden en ontgravingen. Het reliëf kan ook regelmatige hoogteverschillen vertonen, bijvoorbeeld bij een systeem van ruggen, slenken en greppels.

Figuur 4.5.1 geeft een schematisch voorbeeld van diverse vormen van reliëf betreffende hoogten, helling en hellingverandering. Ondanks geringere hoogteverschillen in het rechterperceel kan men daar grotere moeilijkheden verwachten voor landbouwwerktuigen.



Figuur 4.5.1. Een schematisch voorbeeld van diverse vormen van reliëf naar Wind en Bos (1964).

Invloeden

Het reliëf in het algemeen maar ook het micro-reliëf is van invloed op het micro-klimaat in verband met verschillen in temperatuur en windsnelheid nabij het maaiveld. De topografie of het reliëf was en is tevens van invloed op de bodemvorming in verband met water- en winderosie en verschil in hydrologische toestand. Hierdoor kunnen bij relatief kleine hoogteverschillen op korte afstand grote verschillen bestaan in bodemgesteldheid.

Landbouwkundige eisen

Bij een landbouwkundig gebruik worden bepaalde eisen aan de maaiveldligging gesteld in verband met:

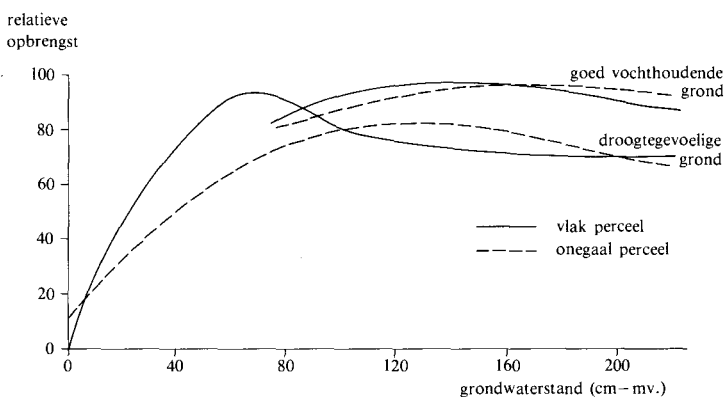
- a. agrohydrologie en gewasproductie;
- b. mechanisatie en rationalisatie van het grondgebruik;
- c. bodembescherming.

Om deze redenen wordt egalisatie toegepast afhankelijk van hydrologische omstandigheden en van het te verwachten economisch rendement.

4.5.2. Waterhuishouding en egalisatiebehoefte

Relatie hoogteligging, grondwaterdiepte en opbrengst

De opbrengst van een perceel is onder andere afhankelijk van de diepte van het grondwaterniveau en van het vochthoudend vermogen van het bodemprofiel. Bij een onegaal terrein met een grondwaterniveau binnen de invloedssfeer van een gewas bij gemiddelde terreinhoogte, kan een deel van een perceel met wateroverlast te kampen hebben vanwege een te lage ligging van het maaiveld ten opzichte van het grondwaterniveau. Anderzijds kan een ander deel bij droogtegevoelige gronden te hoog zijn gelegen ten opzichte van het grondwaterniveau met als gevolg opbrengst-depressies door droogteschade vanwege vochttekort, zie figuur 4.5.2.



Figuur 4.5.2. Opbrengst-ontwateringsdiepte-curven van gronden met vlakke en onregelmatige maaivelds-ligging, die verschillen in vochtleverend vermogen.

Egalisatiebehoefte

Gezien vanuit het oogpunt van opbrengstverhoging komen slechts die gronden voor egalisatie in aanmerking waar zowel sprake is van wateroverlast als van droogte-gevoeligheid (Wind en Bos, 1964).

Onegaal gelegen gronden zonder regelmatige wateroverlast in de laagten komen in het algemeen niet voor egalisatie in aanmerking.

Bij een overwegend gunstige ligging van het maaiveld ten opzichte van het afwateringsniveau bestaat soms, bijvoorbeeld bij uitvoering van cultuurtechnische werken, de mogelijkheid laagten op te vullen met van elders vrijkomende grond, afhankelijk van de hoeveelheid benodigde grond en transportafstand. Deze methode is in genoemde omstandigheden te verkiezen boven een algehele egalisatie.

Afgezien van de kavelinrichtingswerken bij ruilverkavelingen wordt egalisatie voornamelijk toegepast om wateroverlast in laagten te voorkomen indien geen goedkopere methode als bijvoorbeeld verbetering van ontwatering mogelijk is of onvoldoende effectief is. Dit laatste betreft meestal ingesloten laagten.

Oorzaken van wateroverlast

Wateroverlast in laagten kan behalve een te lage ligging van het maaiveld ten opzichte van het afwateringsniveau ook andere oorzaken hebben als:

- oppervlakteaflow van hoogte naar laagte;
- het voorkomen van een slecht doorlatende laag in het bodemprofiel, hetzij van nature aanwezig, hetzij ontstaan door bodemverdichting;
- onvoldoende infiltratiecapaciteit van de zodelaag bij grasland, bijvoorbeeld bij kleigronden;
- afstroming over een vorstlaag tijdens een dooiperiode na sneeuwval.

Gevolgen van wateroverlast

Door genoemde oorzaken kan plasvorming optreden in laagten bij soms relatief kleine hoogteverschillen. De gevolgen van plasvorming en wateroverlast kunnen zijn:

- uitwinteren van Engels raaigras in grasland en van wintergewassen bij bouwland;
- vertraging van werkzaamheden in het voorjaar. De vochttoestand van de toplaag in de depressies is vaak bepalend voor het tijdstip van aanvang van bepaalde werkzaamheden voor het gehele perceel, zowel bij bouwland als grasland;
- onregelmatige en vertraagde gewasgroei en daardoor te lage opbrengsten;
- oogstmoeilijkheden in laagten in de herfst bij hakvruchten en maïs op bouwland;
- onvoldoende draagkracht in natte perioden bij grasland met de gevolgen van opbrengstverlies door vertrapping en zodebeschadiging bij beweiding en door verdichting bij berijden met zware werktuigen.

Een vlakke ligging is tevens van belang bij bevoeiing van grasland in verband met een gelijkmatige verdeling van het water over het land. Hierdoor wordt het water optimaal benut en een hogere produktie bereikt.

Vormen van egalisatie

In de IJsselmeerpolders wordt bij een ongelijk liggend maaiveld van bouwland per kavelhelft gestreefd naar een vlakke ligging op helling naar de sloot. In het noordelijk zeekleigebied worden bij kavels met kruinige percelen in ruilverkavelingsverband sloten gedempt zonder volledige egalisatie toe te passen. Door de diepe drainage tracht men hier wateroverlast als gevolg van oppervlakteaflow naar de laagten van de gedempte sloten te beperken (Boels, 1978). Een onregelmatig micro-reliëf komt veel voor op voor irreversibele indroging gevoelige veengronden onder grasland. Als gevolg van sterke indroging ontstaat een onregelmatig patroon van bulten en slenken. Dit betreft de zogenaamde "hobbeligheid".

Dergelijke percelen worden vooral na een droge zomer relatief ondiep geploegd en bij voorkomen van ondiepe vaste veenlagen (onder andere schalterveen) gewoeld tot 0,4 à 0,5 m -mv. Na een lichte egalisatie wordt opnieuw ingezaaid.

4.5.3. Reliëf en detailontwatering

Begreppeling

Op ten opzichte van het grondwater laaggelegen gronden en op gronden met een slechte doorlatendheid wordt begreppeling toegepast om oppervlakteafvoer te bewerkstelligen. Dit is de belangrijkste functie van greppels. Het effect hiervan is wat betreft de ontwateringsdiepte beperkt tot de diepte van de greppel (*Ebbers, 1976*).

In verband met de mechanisatie van de weidebedrijven en de zwaardere eisen die aan de ontwatering worden gesteld, worden steeds meer greppels gedicht en vervangen door buisdrainage. Greppels vormen een belemmering voor het gebruik van machines, vereisen extra onderhoud en gaan gepaard met opbrengstverliezen. Volgens *Righolt en Van Hemert (1971)* bedraagt de totale arbeidsbehoefte op begreppelde percelen in het noordelijk kleigebied 10% meer dan op gedraineerde gronden. Een opbrengstdepressie tot 30% wordt hierbij berekend, afhankelijk van de greppelafstand en mits na egalisatie hetzelfde produktieniveau bereikt kan worden als vóór egalisatie midden op de akker.

Dichten van greppels

Meestal streeft men bij het dichten van greppels respectievelijk van slenken met greppel naar een vlakke ligging van het maaiveld. Dit kan bereikt worden door ondiep ploegen in combinatie met een lichte egalisatie. Voorwaarde hierbij is: een goede ontwateringsmogelijkheid met voldoende lage slootpeilen en een goed functionerend drainagesysteem. Dit geldt vooral voor klei- en zavelgronden.

Tonronding

Grasland op zavel- en kleigronden is vooral in de eerste jaren na inzaai gevoelig voor beweiding en berijden onder natte omstandigheden met als gevolg plasvorming en zwartlopen van de zodelaag, ondanks een goed functionerend drainagesysteem.

In de Flevopolders geeft men bij grasland de voorkeur aan een maaiveld met een zekere tonronding van ca. 1 à 2 cm per m (*Werkgroep Aanleg grasland, 1979*).

De akkers hellen af naar de drainreeksen, waarbij de breedte van de akker is aangepast aan de drainafstand (16 m). Hierdoor wordt plasvorming geconcentreerd in de laagten boven de drains. Door deze laagten 1 à 2 maal per jaar tot 0,3 à 0,4 m diep te woelen, wordt het oppervlaktewater snel naar de drains afgevoerd. De toplaag heeft in natte perioden onvoldoende infiltratiecapaciteit vanwege verdichten (*Werkgroep Aanlag grasland, 1979*). Dezelfde problemen kunnen zich ook voordoen na bewerking van zavel- en kleigronden op het oude land. Een tonronding van de akkers wordt anderzijds bezwaarlijk gevonden in verband met het gebruik van cyclo-maaimachines en opraapwagens.

In het rivierkleigebied streeft men naar een tonronding van het maaiveld afhellend naar de sloten. Belangrijk is het voorkomen van ingesloten laagten die kunnen ontstaan door nazakking van gedempte sloten.

4.5.4. Bepaling van maaiveldshoogte bij egalisatie

Voor de bepaling van het nieuwe maaiveld bij egalisatie kan gebruik gemaakt worden van:

- a. regressieberekeningen;
- b. grafische methode;
- c. profielmethode.

Ad a. Regressieberekeningen

Bij de regressieberekening zoekt men een plat vlak met een helling die zo goed mogelijk aansluit bij de bestaande topografie en waarbij het grondverzet minimaal is. Dit vlak wordt bepaald door twee onderling loodrechte lijnen die door het zwaartepunt van het perceel gaan. De coördinaten van het zwaartepunt ten opzichte van het referentievlak, bijvoorbeeld NAP, wordt gevonden als de gemiddelden van de coördinaten van de hoogtepunten (x_c , y_c en z_c). Elk vlak door dit zwaartepunt levert gelijke hoeveelheden te ontgraven en op te hogen grond. De algemene vergelijking van een vlak luidt:

$$z = z_0 + s_x \cdot x + s_y \cdot y$$

waarin:

- | | |
|------------------|--|
| x , y en z | = assen van een loodrecht coördinatenstelsel, waarin het meestal horizontale xy -vlak een referentievlak is |
| z_0 | = hoogte van het vlak boven de oorsprong |
| s_x en s_y | = hellingtangens van het nieuwe maaiveld in x -, respectievelijk y -richting te berekenen uit normaalvergelijkingen. |

Ad b. Grafische methode

De grafische methode is in principe hetzelfde als de vorige methode. De bepaling van de hellingen in x - en y -richting wordt nu echter niet mathematisch maar grafisch verricht. Hiertoe wordt het gemiddelde profiel in x - en y -richting geconstrueerd en de regressielijnen op het oog getrokken. Deze methode is minder bewerkelijk maar minder nauwkeurig (Visser, 1959).

Ad c. Profielmethode

Bij de profielmethode of raaien wordt eveneens uitgegaan van een kwadratenet. De gemiddelde hoogte, die te berekenen is uit de waterpassing van de kruispunten van het kwadratenet, wordt berekend waarna de gemiddelde hoogtelijn op de kaart wordt aangegeven. Hierdoor wordt een overzicht verkregen welk gedeelte afgegraven respectievelijk opgehoogd moet worden. Het terrein wordt horizontaal afgewerkt op gemiddelde hoogte.

Bij aanpassing van de egalisatie aan de helling van het terrein wordt een hoogtelijnenkaart samengesteld, waarin tevens nieuwe hoogtelijnen getekend worden, representatief voor de nieuwe maaiveldsligging. Een regelmatige maaiveldsligging wordt verzekerd door de nieuwe hoogtelijnen op regelmatige afstanden van elkaar te trekken volgens zekere kwaliteitseisen (Eppink en Van Duin, 1983).

4.5.5. Bepaling van hoeveelheid grondverzet en transportafstand

Grondverzet

Men kan het reliëf uitdrukken in een egalisatienorm, gedefinieerd als het grondverzet in m³ per ha per 10 cm hoogteverschil. Voor kleinere objecten van 1 à 2 ha in de Gelderse Vallei bedroeg het grondtransport bij hoogteverschillen van minder dan 0,8 m ongeveer 100 m³ per ha per 10 cm hoogteverschil. Bij hoogteverschillen van meer dan 0,8 m nam het grondtransport toe van 100 tot maximaal 200 m³ per ha per 10 cm. Bij grotere objecten van 6 tot 25 ha met hoogteverschillen van meer dan 0,8 m liep het grondtransport terug van 100 naar 60 m³ per ha per 10 cm (Otto, 1959).

Overhoogte

Bij ontgraving en ophoging dient men rekening te houden met een uitleverings- en overhoogtefactor. De verhouding van ontgraving en ophoging kan variëren van 1,05 tot 2,0 als gevolg van compactie bij ontgraving en lossere pakking bij ophoging. De verhouding is afhankelijk van de aard van het materiaal.

Transportafstand

De transportafstand kan afgeleid worden van een schuifdiagram. De hoeveelheid te transporteren grond volgt uit de ophogings- en afgravingskaart. Bij een ruitennet van 10 × 10 m is 1 cm ontgraving of ophoging 1 m³ grond.

De schuiflijnen in een schuifdiagram mogen elkaar niet kruisen maar wel in elkaars verlengde lopen: de schuiflijnen worden getrokken tussen de zwaartepunten van de vierkanten.

4.5.6. Methode van egalisatie

De methode van egalisatie en de keuze van de te gebruiken machines is afhankelijk van de hoeveelheid grondverzet en de transportafstand.

De hoeveelheid grondverzet is sterk afhankelijk van de hoeveelheid grond die nodig is om de laagten zodanig op te hogen dat deze van wateroverlast gevrijwaard blijven. Bij een kleine oppervlakte met een te lage ligging ten opzichte van een te hoge ligging dient onder helling te worden geëgaliseerd afhellend naar een sloot. In hellende gebieden dient bovendien rekening gehouden te worden met de helling van het zomergrondwaterniveau. Bij egalisatie wordt de teeltlaag ter dikte van ten minste 0,2 m ter plaatse zowel op hoogten als in laagten zoveel mogelijk gespaard en aan de oppervlakte gehouden, respectievelijk naar boven gebracht.

4.5.7. Kosten en baten

De kosten van egalisatie worden hoofdzakelijk bepaald door de hoeveelheid grondverzet en de transportafstand. De baten worden voornamelijk bepaald door de oppervlakte die door ophoging een voldoende drooglegging krijgt in afhankelijkheid van de uitgangstoestand en door de mate waarmee de gebruiksmogelijkheden van het gehele perceel zijn toegenomen.

4.5.8. Literatuur

- Boels, D., 1978.
Bovengrondse afstroming op kruinige zavelpercelen. Cultuurtechn. Tijdschr. 18(4): p.221-229. Ook Verspr. Overdr. 228, Instit. voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Wageningen.
- Ebbers, W.J., 1976.
Oppervlakte-afvoer op zware kleigraslanden. Cultuurtechn. Tijdschr 15(5): p.267-273.
- Eppink, L. en R.H.A. van Duin, 1983
Verandering van maaiveldsligging. Bodemtechniek, deel D. Landbouw Hogeschool, Vakgroep Cultuurtechniek, Wageningen.
- Otto, W.M., 1959.
Grondverbetering op lage zandgronden. Diss. Versl. Landbouwk. Onderz. nr. 65. Wageningen.
- Righolt, J.W. en A.K. van Hemert, 1971.
Bedrijfseconomische aspecten van perceelsvorm en begreppeling op grasland. Cultuurtechn. Tijdschr. 10(6): p.245-254.
- Visser, P., 1958
Grondverzet bij egalisaties. Cursus Techn. Ambt. Cultuurtechnische Dienst.
- Visser, P., 1959.
Enige beschouwingen over de methode van algehele egalisatie tot een vlak waarbij minimaal grondtransport en minimale transportafstand verzekerd is. Meded. Cultuurtechnische Vereniging 3(3): p.73-93.
- Werkgroep Aanleg grasland, 1979.
Rond of vlak grasland in de Flevopolders? Rapport 1979-20 Abw. Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders, Lelystad.
- Wind, G.P. en H. Bos, 1964.
Egalisatiebehoeften van bouwland. Tijdschr. Kon. Ned. HeideMij 75(1): p.41-50.
- Zwan, L.M. van der, e.a., 1966.
Het gebruik van hoogtekaarten. (Verslag werkgroep "Hoogtekaarten"), Cultuurtechn. Tijdschr. 5(6): p.249-274.

4.6. Profielverbetering

4.6.1. Algemeen

Profielingsrepen worden in de landbouw toegepast met het doel ongunstige eigenschappen van het bodemprofiel in gunstige zin te wijzigen. De doelstellingen zijn:

- het vergroten van het vochtleverend vermogen bij droogtegevoelige gronden door vergroting van de bewortelingsdiepte;
- het verbeteren van de draagkracht van de toplaag bij graslandgronden;
- het verbeteren van de bewerkbaarheid van zware kleigronden bij akkerbouw en vollegrondstuinbouw;
- het verbeteren van profielen met een scherpe begrenzing van lagen met geheel verschillende eigenschappen;
- het verwisselen of vermengen van lagen bij profielen met een weinig vochthoudende bovengrond en een goed vochthoudende ondergrond.
- het verbeteren van de doorlatendheid van dichte lagen van nature aanwezig of ontstaan door gebruik van zware werktuigen.

4.6.2. Bewortelingsdiepte

Door vergroting van de bewortelingsdiepte kan bij bepaalde droogtegevoelige gronden een extra hoeveelheid bodemvocht worden ontsloten. Afhankelijk van de grondwaterdiepte kan bovendien een extra capillaire aanvoer worden bereikt.

De bewortelingsdiepte is afhankelijk van:

- a. de fysiologische eigenschappen van het gewas;
- b. de dichtheid van bodemlagen (mechanische weerstand);
- c. de zuurgraad;
- d. de aëratie (luchthuishouding).

Ad a. Gewaseigenschappen

Diep wortelende landbouwgewassen zijn onder andere granen, bieten en lucerne. Aardappelen ontwikkelen een minder diepe beworteling, terwijl bij grasland 70 tot 80 % van de totale wortelmasa voorkomt, in de laag van 0 tot 20 cm, ook bij een gunstig doorwortelbaar profiel (*Hoogerkamp*, 1976). De laagdikte waarin 70 tot 80 % van de totale wortelmasa voorkomt, wordt als de effectieve wortelzone beschouwd bij agro-hydrologische studies.

Ad b. Mechanische weerstand bodemlagen

Grond met een poriënfractie $< 0,4$ is niet doorwortelbaar vanwege een te hoge mechanische weerstand. Voor een goede wortelgroei wordt bij humus- en slibarm zand een poriënfractie vereist van ten minste 0,43 (*Hidding*, 1963).

De mechanische weerstand van diverse bodemlagen kan bij vochtige toestand, bij voorkeur in het voorjaar, worden gemeten met een penetrometer waarbij een conus wordt

Bij indringingsweerstanden (I_w) van 1 tot 1,5 MPa is humusloos zand goed bewortelbaar en bij humeus- en slibhoudend zand tot 2 MPa (Houben, 1980 en 1981). $1 \text{ MPa} \cong 10 \text{ kg} \cdot \text{cm}^{-2}$.

Door de ondergrond losser te maken via woelen of te vermengen met bovengrond door mengwoelen kan de hoeveelheid opneembaar vocht worden vergroot en kan de droogtegevoeligheid van het profiel afnemen.

Ad c. Zuurgraad

Algemeen is bij een $\text{pH} < 3,5$ geen wortelgroei mogelijk. Dit geldt zowel voor akkerbouwgewassen als voor gras op klei-, zand- en veengronden (Wind, 1967).

Ad d. Aëratie

Onder de luchthuishouding van de bodem wordt verstaan: het geheel van verbruik respectievelijk productie van zuurstof en koolzuurgas door plantenwortels en micro-organismen, het mogelijke transport van die gasen en de gasconcentraties in de bodem die daarvan het gevolg zijn.

Het meeste gastransport in de bodem heeft plaats door diffusie. Dit kan worden beschreven door:

$$F = -D \frac{dc}{dx}$$

F = gasflux ($\text{mg gas} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)

c = gasconcentratie (mg gas per cm^3 bodemlucht of water)

x = afstand (cm)

D = gasdiffusie-coëfficiënt ($\text{cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$)

De diffusie van gasen door water is zeer klein vergeleken met die in de lucht; voor zuurstof is de diffusiecoëfficiënt in water, $D_w = 2 \cdot 10^{-5} \text{ cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ en in lucht, $D_l = 0,2 \text{ cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ (bij 20°C).

Diffusie via water is van belang voor het transport over afstanden van millimeters in bodemaggregaten en rond en in wortels; voor het transport over grotere afstanden kan water in de grond als ondoorlatend voor gas worden beschouwd.

De diffusiecoëfficiënt van een gas in grond, D_g , wordt daarom praktisch geheel bepaald door de hoeveelheid, vorm en de continuïteit van de met lucht gevulde poriën.

Voor de verschillende structuren kan, gegeven het luchtgehalte ε_g ($\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$) een schatting worden gemaakt van D_g met behulp van de volgende empirische relaties:

- voor materiaal met alleen rechte doorlopende kanalen of spleten evenwijdig aan de diffusierichting:

$$D_g/D_l = \varepsilon_g$$

- voor volledig droge gronden:

$$D_g/D_l = \varepsilon_g^{1,4} = \varepsilon_t^{1,4}$$

waarin:

$$\varepsilon_t = \text{totaal poriënvolume}$$

- voor volledig met water gevulde gronden:

$$D_g/D_w = \varepsilon_t^{1,4}$$

- voor vochtige gronden met éénkorrel-structuur:

$$D_g/D_l = 1,5 \varepsilon_g^{3,0}$$

hiertoe behoren bijvoorbeeld structuurloze zanden en kleien en zaveln na verslemping of een mechanische verdichting, waarbij alle structuur is vernield.

- voor vochtige grond met enige structuur of enige gangen en scheuren:

$$D_g/D_l = 0,6 \varepsilon_g^{2,0}$$

hiertoe behoren de meeste landbouwgronden.

- voor vochtige grond met zeer fraaie structuren (sponsstructuur, kruimelige structuur)

$$D_g/D_l = 0,2 \varepsilon_g^{1,4}$$

De relaties voor vochtige gronden gelden voor ε_g -waarden tussen circa 0,35 en 0,02 à 0,10. Zodra alle poriën zijn geblokkeerd door water valt D_g terug tot circa de waarde van volledig met water verzadigd materiaal; dit is in structuurloze gronden bij $\varepsilon_g \leq 0,08$ à 0,10 en bij gronden met structuur bij $\varepsilon_g \leq 0,02$ à 0,04.

De luchtgehalten ε_g worden bepaald door textuur, structuur en vochtspanning. De lage luchtgehalten komen voor in de nabijheid van grondwaterspiegels of stagnerend water, maar ook ver boven het grondwater in dichte zaveln, kleien en lemige zanden bij veldcapaciteit (zie pF-curven).

Men spreekt van onvoldoende aëratie wanneer de mogelijkheid van gasaanvoer daalt beneden de vraag naar transport. Hierdoor treedt vooral door zuurstofgebrek schade op door tragere groei of afsterven van plantenwortels en door denitrificatie van NO_3^- . Schadelijk worden zuurstofconcentraties in de bodemlucht van 5 à 10 vol. % in natte grond en bij hogere activiteit van wortels en micro-organismen. Bij lage activiteit en temperatuur en in drogere grond mag het zuurstofgehalte niet verder dalen dan 2 à 5 vol. %. In normale land- of tuinbouwgronden betekent dit dat D_g boven $3 \cdot 10^{-3} \text{ cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ moet blijven als de temperatuur en activiteit zeer hoog is. Bij zeer geringe activiteit en lage temperatuur mag D_g niet dalen onder $1,5 \cdot 10^{-4} \text{ cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$.

Zuurstofverbruiken die zo hoog zijn dat zelfs in de meest luchtige grond zuurstofgebrek optreedt, vindt men onder andere in grond met aanvoer van oxydeerbare gassen, bijvoorbeeld aardgas of moerasgas, en in dikkere lagen grond die verrijkt zijn met gemakkelijker oxydeerbaar organisch materiaal.

4.6.3. Profielverbetering van plaatgronden

Vochtvoorziening

Plaatgronden zijn gronden met een kleidek van circa 30 tot 80 cm op een dichte humusarme zandondergrond. Zij komen voornamelijk voor in Zeeland en de IJsselmeerpolders (totale oppervlakte circa 30.000 ha).

Naarmate het kleidek dunner wordt dan 80 cm neemt het vochthoudend vermogen af en de droogtegevoeligheid toe in afhankelijkheid van de diepte van het grondwater.

De toename van de totale hoeveelheid beschikbaar vocht wordt bepaald door:

- het vochthoudend vermogen (pF 4,2-2,0) van de klei- of zavelbovenlaag en van het bewerkte zand;
- de dikte van de klei of zavelbovengrond en van de bewerkte zandlaag;
- de hoeveelheid extra vocht in de wortelzone onder invloed van het grondwater bij vochtspanningen < pF 2,0;
- de capillaire leverantie. Deze is eveneens afhankelijk van de grondwaterdiepte.

Volgens laboratoriumonderzoek is het vochthoudend vermogen (pF 4,2-2,0) nagenoeg evenredig met de mengverhouding van de verschillende lagen. Dit is voor zavel bijvoorbeeld 20% en van het losgemaakte zand 8%. Dan bedraagt het vochthoudend vermogen na menging in een verhouding van 1:1 van het mengsel 14%. De vochtvoorraad wordt vergroot als gevolg van een toename van de dikte van de bewortelbare laag. Voor de orde van grootte van de vergroting van de vochtvoorraad, zie tabel 4.6.1.

Tabel 4.6.1. De invloed van het mengwoelen tot 60 cm (profiel B) op de vergroting van de vochtvoorraad (mm) tijdens het groeiseizoen bij een plaatgrond van 30 cm zavel op zand (profiel A) in afhankelijkheid van de voorjaarsgrondwaterdiepte (h_f cm - mv). (Wind, 1963).

h_f	Profiel A			Profiel B			ΔV		
	V_w	V_c	V_b	V_w	V_c	V_b	V_w	V_c	V_b
60	69	84	153	148	88	236	79	4	83
90	63	74	137	105	84	189	42	10	52
120	60	37	97	87	74	161	27	37	64
150	60	23	83	84	37	121	24	14	38
180	60	16	76	84	23	107	24	7	31

V_w = hoeveelheid beschikbaar vocht in de wortelzone in mm

V_c = hoeveelheid capillaire aanvoer in mm

V_b = totale hoeveelheid beschikbaar vocht in mm

Uit tabel 4.6.1 blijkt de grote invloed van h_f of V_b in de wortelzone en de betekenis van de verdieping van de wortelzone bij h_f is 60 tot 90 cm –mv. De toename van de capillaire leverantie (V_c) is het grootst bij een grondwaterstand van 120 cm –mv (*Wind*, 1963). Een beperking voor de menging van de bovenlaag is de voorwaarde dat het slibgehalte van de bouwvoor niet mag dalen beneden 13 à 14% vanwege een dan te verwachten gevoeligheid voor verstuiven en verslemping.

Effect op opbrengst

De opbrengstdepressie als gevolg van vochttekort is afhankelijk van het verdampingsoverschot. Dit wisselt van jaar tot jaar.

Bij een potentiële verdamping tijdens het groeiseizoen van 350 mm en een neerslag van 110 mm wordt bij een vochtleverend vermogen van 240 mm een opbrengst bereikt van 100%. Volgens *Wind* (1963) kunnen afhankelijk van de dikte van de zavel- of kleilaag, de grondwaterdiepte en de diepte van menging de volgende relatieve opbrengsten worden bereikt, zie tabel 4.6.2.

Tabel 4.6.2. Opbrengst van landbouwgewassen op plaatgrond bij verschillende diktes van de deklaag, mengdiepten en grondwaterstanden, uitgedrukt in procenten van de opbrengst op een ideaal profiel en gemiddeld over een lange periode. (*Wind*, 1963).

Dikte zavel- of kleilaag (cm)	Grond- waterstand (cm)	Mengdiepte (cm)								
		0	30	40	50	60	70	80	90	100
20	60	85	91	96	99	100	100			
20	90	80	87	90	93	97	100			
20	120	71	75	81	87	92	94			
20	150	68	71	74	78	83	88			
20	180	66	69	72	75	78	82			
30	60	93		97	100	100	100	100		
30	90	89		92	95	98	100	100		
30	120	79		85	90	94	96	99		
30	150	75		78	82	86	90	94		
30	180	73		75	79	82	85	88		
30	210	72		74	77	80	83	86		
40	60	97			100	100	100	100	100	
40	90	94			97	99	100	100	100	
40	120	87			92	96	98	100	100	
40	150	82			85	89	92	96	99	
40	180	79			82	86	88	90	93	
40	210	78			81	83	86	88	91	
50	60	100				100	100	100	100	100
50	90	98				100	100	100	100	100
50	120	94				98	99	100	100	100
50	150	88				91	94	98	100	100
50	180	86				88	90	93	95	98
50	210	84				87	89	91	93	85

Uit tabel 4.6.2 kan men de optimale bewerkingsdiepte afleiden in afhankelijkheid van de dikte van de kleilaag en van de grondwaterdiepte. Ook het effect van een eventuele verhoging van de grondwaterstand is hieruit af te leiden.

Volgens deze tabel kan bij een klei- of zavel dikte van 30 cm, een mengdiepte van 60 cm en bij een voorjaarsgrondwaterstand van 120 cm een gemiddelde meeropbrengst van 19% worden bereikt.

Resultaten op proefvelden

Hidding (1963) vond gemiddeld over circa 25 proefvelden in de jaren 1959 t/m 1961 een meeropbrengst van 12% met een variatie van -12 tot +50% bij een kleidikte variërend van 25 tot 60 cm, bij diverse akkerbouwgewassen.

Feitsma (1969) verkreeg in de IJsselmeerpolders in de jaren 1960-1966 gemiddeld een meeropbrengst van 10% bij akkerbouwgewassen na verbetering van de bewortelingsdiepte bij dunne zaveldekken van 20 tot 35 cm dikte.

Volgens onderzoek van *Havinga* (1978) werd op een dertigtal proefvelden in de jaren 1962 t/m 1970 bij granen een gemiddelde meeropbrengst berekend van 9% en bij suikerbieten 8%. Bij aardappelen werd een negatief effect geconstateerd na woelen en mengfreen in tegenstelling tot diepploegen. Bij peulvruchten varieerde het effect van neutraal tot negatief.

Berekening van bewerkingsdiepte

De bewerkingsdiepte waarbij het lutumgehalte van de bouwvoor door menging niet tot beneden 14% mag afnemen is te berekenen via de formule

$$f_{Lk} \cdot m_k + f_{Lz} \cdot m_z = f_{Lm}(m_k + m_z) \quad (\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}) \quad (4.6.1)$$

waarin:

$$\begin{aligned} f_{Lk}, f_{Lz} \text{ en } f_{Lm} &= \text{lutumfractie van klei, zand en van het mengsel} \\ m_k \text{ en } m_z &= \text{massa van de hoeveelheid klei respectievelijk van zand} \end{aligned}$$

Te berekenen is dan m_z , dat is de hoeveelheid aan te ploegen zand.

Afgeleid van vergelijking 4.6.1.:

$$m_z = \frac{m_k (f_{Lk} - f_{Lm})}{f_{Lm} - f_{Lz}} \quad (\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}) \quad (4.6.2)$$

Voorbeeld

Uitgaande van een profiel van:

0-30 cm klei waarbij $\rho_{dk} = 1,3 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ en $f_{Lk} = 0,35$

> 30 cm zand waarbij $\rho_{dz} = 1,6 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ en $f_{Lk} = 0$

en van het nieuwe profiel $f_{Lm} = 0,14$

dan is bij een kolom grond van $1 \times 1 \times 30 \text{ cm}^3$

$$m_k = 30 \times 1,3 = 39 \text{ g.}$$

Invulling van de vergelijking 4.6.2 geeft:

$$m_z = \frac{39(0,35 - 0,14)}{0,14 - 0} = 58,5 \text{ g.}$$

De aan te ploegen zanddikte (d) is:

$$d = \frac{m_z}{\rho_{dz}} = \frac{58,5}{1,6} = 36,6 \text{ cm}$$

en de ploegdiepte is $30 + 36,6 = 67 \text{ cm}$.

4.6.4. Profielverbetering van veenkoloniale gronden

Vochtvoorziening

De totale oppervlakte van de veenkoloniale gronden bedraagt circa 100.000 ha. Het algemeen voorkomend profiel bestaat uit een sterk humeuze bouwvoor met een organische-stofgehalte van meer dan 10% op een laag veen variërend in dikte van 0 tot meer dan 2 m. Onder het veen komt meestal een podzolprofiel voor. Het veen onder de bouwvoor is niet of nauwelijks bewortelbaar vanwege een hoog vochtgehalte (luchtgebrek) en een te lage zuurgraad, en het zand vanwege een te grote dichtheid. De pH-KCL van het veen varieert van 2,7 tot 3,7. De hoeveelheid beschikbaar water bedraagt circa 70 mm waarvan 30 mm in de bouwvoor en 40 mm capillaire aanvoer vanuit het veen. Bij een gemiddeld neerslagtekort moet voor akkerbouwgewassen circa 150 mm vocht door de grond geleverd kunnen worden.

Menging van het zure veen met de sterk humeuze bouwvoor en met zand uit de ondergrond vergroot de bewortelingsdiepte en ontsluit een hoeveelheid vocht van circa 35 mm per laag van 10 cm, zie tabel 4.6.3.

Na verbetering is ook bij diepe grondwaterstand de hoeveelheid beschikbaar vocht algemeen voldoende.

Bij de profielverbetering mag het organische-stofgehalte van de nieuwe bouwvoor niet tot beneden 10 à 15% worden verlaagd in verband met een toenemende gevoeligheid voor winderosie bij lagere organische-stofgehalten. Aan deze eis wordt veelal voldaan

Tabel 4.6.3. De bodemvoorraad water in mm in een niet en wel gemengwoelde veenkoloniale grond met 25 cm veen (Wiebing en Wind, 1979).

Voorjaarsgrond- waterstand cm –mv	Bodemvoorraad	
	niet verbeterd	wel verbeterd
40	134	275
60	133	251
80	127	227
100	114	207
120	100	194
140	90	175
220	70	133

als de dikte van de aan te ploegen zandlaag circa 2 maal de dikte van de veenlaag bedraagt. Bij een bouwvoor van 20 cm en een veenlaag van 70 cm bedraagt de bewerkingst diepte circa 160 cm. De bewerking wordt meestal uitgevoerd met mengwoelers en in de laatste jaren met mengploegen.

Effecten op opbrengst

Naar gegevens van *Wind en Pot* (1976) bedroeg de gemiddelde meeropbrengst door profielverbetering ten opzichte van het onbehandelde proefveld op de proefobjecten Borgercompagnie en in de Krim als in tabel 4.6.4 is weergegeven.

Voor Borgercompagnie betreft dit de periode 1968-1975 en voor de Krim 1967-1970.

Tabel 4.6.4. De gemiddelde meeropbrengst door profielverbetering in % en in kg op de proefobjecten in Borgercompagnie en in de Krim. (*Wind en Pot*, 1976).

Gewas	Borgercompagnie		De Krim	
aardappelen	+ 6%	4.400 kg	+ 11%	6.500 kg
suikerbieten	+ 12%	7.000 kg	+ 11%	5.700 kg
zomertarwe	+ 6%	300 kg	+ 6%	300 kg
haver	+ 9%	550 kg	+ 6%	250 kg

De profielverbetering bestond uit vier verschillende methoden, namelijk:

- mengwoelen;
- mengrotor;
- diepploegen *zonder* behoud van bouwvoor;
- diepploegen *met* behoud van bouwvoor.

De verschillende methoden van profielverbetering vertoonden onderling weinig verschil in effect.

Het gebruik van de mengrotor was op het proefobject in Emmercompascuum in de eerste acht jaren van onderzoek in de meest jaren negatief. Dit wordt toegeschreven aan een te fijne homogene menging.

Behalve hogere opbrengsten werd door profielverbetering tevens een betere bewerkbaarheid en berijdbaarheid verkregen. Algemeen is het effect van de profielverbetering ook hier afhankelijk van het verdampingsoverschot in het voorjaar en tijdens het groei-seizoen.

Een ander voordeel is dat na menging van het veen met zand, het veen meer wordt geconserveerd in vergelijking met de oude methode van ploegen waarbij per jaar circa 1 cm veen werd aangeploegd.

Berekening van bewerkingst diepte

De bewerkingst diepte bij een bepaald te realiseren organische-stofgehalte van de nieuwe bouwvoor is te berekenen via de formule:

$$f_{hb} \cdot m_b + f_{hv} \cdot m_v + f_{hz} \cdot m_z = f_{hm} (m_b + m_v + m_z) \quad (4.6.3)$$

waarin:

$$\begin{aligned} f_{hb}, f_{hv}, f_{hz} \text{ en } f_{hm} &= \text{de organische-stoffractie van bouwvoor, veenlaag, zandon-} \\ &\quad \text{dergrond en van het mengsel} \\ m_b, m_v \text{ en } m_z &= \text{massa van bouwvoor, veenlaag en zand.} \end{aligned}$$

Te berekenen is dan m_z = de hoeveelheid aan te ploegen zand.

Afgeleid van vergelijking (4.6.3) kan m_z als volgt worden berekend:

$$m_z = \frac{m_b(f_{hb} - f_{hm}) + m_{hv}(f_{hv} - f_{hm})}{f_{hm} - f_{hz}} \quad (4.6.4)$$

Voorbeeld

Uitgaande van een profiel van:

0-15 cm bouwvoor waarbij $\rho_{db} = 1,0 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ en $f_{hb} = 0,2$
 15-40 cm veen waarbij $\rho_{dv} = 0,18 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ en $f_{hv} = 0,8$
 > 40 cm zand waarbij $\rho_{dz} = 1,65 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ en $f_{hz} = 0$
 en van het nieuwe profiel $f_{hm} = 0,12$

dan is bij een kolom grond van $1 \times 1 \text{ cm}^2$

$$m_b = 15 \times 1,0 = 15 \text{ g en } m_v = 25 \times 0,18 = 4,5 \text{ g}$$

invulling van vergelijking (4.6.4) geeft

$$m_z = \frac{15(0,2 - 0,12) + 4,5(0,8 - 0,12)}{0,12 - 0} = 35,5 \text{ g}$$

Dit komt overeen met een dikte van het aan te ploegen zand (d) van:

$$d = \frac{m_z}{\rho_{dz}} = \frac{35,5}{1,65} = 21,5 \text{ cm}$$

De gewenste bewerkingstiepte is dan $40 + 21,5 = 62 \text{ cm}$.

4.6.5. Profielverbetering van veldpodzolgronden

Effecten op opbrengst

De bewortelingsdiepte van de veldpodzolgronden is veelal beperkt tot de diepte van de humusarme zandondergrond vanwege een te grote dichtheid.

Aspergeteelt

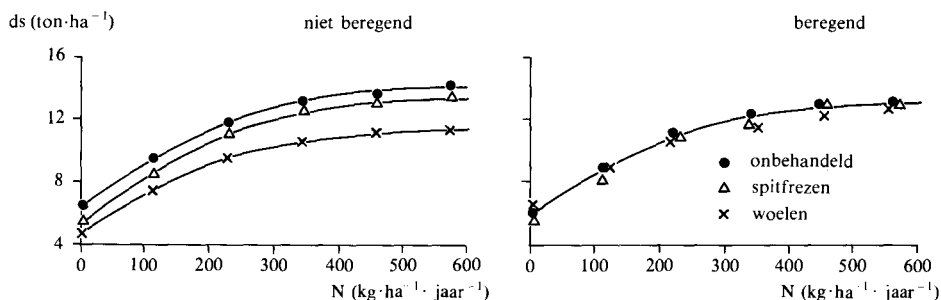
Voor de teelt van asperges in Limburg werden door het vergroten van de bewortelingsdiepte van een veldpodzolprofiel van 40 à 65 cm tot 90 cm –mv door diepfrezen zeer goede resultaten bereikt. Hierbij werd het poriënvolume in de ondergrond van 37 tot 45% verhoogd. Gemiddeld over 8 jaar werd een meeropbrengst van 46% ten opzichte van een tot 40 cm diepte geploegd profiel verkregen. Bovendien was de kwaliteit beter en de levensduur van het gewas naar alle waarschijnlijkheid langer. Ploegen tot 40 cm plus woelen tot 90 cm resulteerde in een meeropbrengst van gemiddeld 11% (Van Dam, 1975).

Diepe bewerking door menging van de humeuze bovengrond met humusarm zand uit de ondergrond had gemiddeld weinig of geen effect op de opbrengst van akkerbouwgewassen (*Verhaegh en Wiebing, 1978*). Dit is bij diepere grondwaterstanden vooral toe te schrijven aan een verlaging van het vochthoudend vermogen van de bouwvoor door verlaging van het organische-stofgehalte.

In een droog voorjaar ontstaat een achterstand in het begin van de groei, die alleen in een droge zomer wordt gecompenseerd door een betere vochtvoorziening. Bovendien bevordert de verlaging van het organische-stofgehalte de gevoeligheid voor winderosie.

Grasland

Bij grasland op een veldpodzolprofiel met een bewortelingsdiepte van 0,4 m leidde een diepe profielbewerking tot 1 m –mv tot een bewortelingsdiepte gelijk aan de diepte van bewerking. Het had echter een duidelijk negatief effect op de droge stofproductie van de bovengrondse massa, speciaal het "behoudend" woelen in vergelijking met spitsfreen (*Schothorst en Hettinga, 1983*), zie figuur 4.6.1.



Figuur 4.6.1. Relatie tussen de opbrengst van droge stof (ds) in ton·ha⁻¹ en de N-gift in kg·ha⁻¹, gemiddeld over de jaren 1978 t/m 1980.

Door berekening kon het negatieve effect van de profielbewerking geheel worden gecompenseerd.

Het negatieve effect was toe te schrijven aan een afname van het vochthoudend vermogen van de bovengrond als gevolg van verlaging van het organische-stofgehalte en aan een afname van het vochtgehalte bij lage vochtspanningen vanwege de lossere structuur. Dit ging tevens gepaard met een afname van het capillair geleidingsvermogen. Bij een gelijke grondwaterdiepte van gemiddeld 1,2 m –mv was de totale hoeveelheid beschikbaar vocht afgenomen.

Hieruit en ook uit ander onderzoek blijkt dat een diepere beworteling als gevolg van een profiel-ingreep geen garantie vormt voor een hogere productie, althans niet bij grasland.

4.6.6. Profielverbetering van droogtegevoelige veengronden

Na sterke uitdroging van de wortelzone kunnen vooral veengronden zonder mineraal dek "irreversibele" indrogingsverschijnselen vertonen (*Hooghoudt e.a.*, 1960). Deze zijn deels van permanente aard, anderzijds spreekt men nu van moeilijk te herbevochtigen gronden.

Het verschijnsel gaat vooral bij ondiepe veengronden gepaard met sterke scheurvorming en ongelijkmatige zakking van het maaiveld, de zogenaamde hobbeligheid.

Dezelfde verschijnselen kunnen zich voordoen bij veengronden met een dun kleidek (< 30 cm) op vast, weinig verweerd veen met een lage pH. Op de overgang komt vaak een zogenaamde gruislaag voor die sterk drainerend werkt (*De Jonge*, 1960).

Ook bij veengronden met een zogenaamde schalterlaag op 20 tot 40 cm diepte treden deze verschijnselen op. Schalterveen, ook spalterveen genoemd, is een irreversibel platerig ingedroogde veenlaag (*Sphagnum cuspidatum*).

Bij een ongelijke ligging van het maaiveld en het voorkomen van vast, weinig verweerd veen of schalterveen onmiddellijk beneden de wortelzone (20 cm) worden deze gronden ondiep geploegd in combinatie met woelen tot circa 0,5 m –mv, geëgaliseerd, bekalkt en opnieuw ingezaaid.

De ongelijke ligging van het maaiveld en het slechte grasbestand ontstaan als gevolg van verdroging, is de voornaamste reden voor verbetering.

Het woelen, dat een aanvullende, weinig kostende maatregel vormt, is bedoeld als verbetering van de aëratie en tot beperking van nieuwe scheurvorming.

Het resultaat van genoemde maatregelen bestaat uit een hogere, regelmatige productie en een betere bewerkbaarheid vooral ten aanzien van het gebruik van cyclo-maaiers en opraapwagens. Ondiepe zeer ongelijk gelegen veengronden kunnen verbeterd worden door mengwoelen plus egalisatie.

4.6.7. Profielverbetering van zware kleigronden

Bij zware kleigronden in gebruik voor akkerbouw of vollegrondstuinbouw wordt bij een lutumgehalte van meer dan 30% in de bouwvoor verschraving van de bouwvoor toegepast door vermenging met het zand uit de ondergrond of met van elders aangevoerd zand. Het doel hiervan is een betere bewerkbaarheid te bereiken. Tevens is dan uitbreiding van de vruchtwisseling mogelijk met de teelt van hakvruchten en eventueel bolgewassen. De toe te passen methode is afhankelijk van de zanddiepte als volgt:

kleilaag 0,6 m mengwoelen tot maximaal 1 m
kleilaag 0,6-1,3 m diepploegen tot maximaal 2 m
kleilaag 1,3-2,5 m grondvrijzel tot maximaal 3,5 m

Als voorwaarde geldt dat het lutumgehalte van de nieuwe bouwvoor niet beneden 12% mag dalen in verband met de ontoelaatbare toename van gevoeligheid voor verslemming. Door bezanding van zware klei en een bouwplan van aardappelen en bloembollen werd gemiddeld over 10 jaar een meeropbrengst bereikt van 6,5% bij een gunstiger rooibaar-

heid en een lager tarrapercentage (*Hidding*, 1965). De optimale bezandingsdikte was 10 cm bij een mengingsdiepte van 30 cm. Andere literatuur: *Feitsma*, (1969) *Boekel en Pelgrum*, (1971).

4.6.8. Profielverbetering van droogtegevoelige zandgronden met een ondiepe, goed vochthoudende laag

Incidenteel komen profielen voor met een zandige, weinig vochthoudende bovengrond op een goed vochthoudende ondergrond. Dit kunnen zijn:

- zand op een kalkhoudende klei-ondergrond;
- zand op een bruine, lemige ondergrond;
- zand op een overstoven, zeer humeuze ondergrond.

Eerstgenoemde profielen werden op Texel met succes verbeterd door klei uit de ondergrond op te ploegen (*Borst e.a.*, 1972). De twee laatstgenoemde profielen, voorkomende in Noord- en Midden-Limburg, werden eertijds met succes verbeterd door het opspitten in handkracht van de vochthoudende laag. Soortgelijk resultaat werd bereikt in Overijssel (*Hurink en Paskamp*, 1960).

4.6.9. Verbetering van de doorlatendheid

Een diepe profielbewerking van kleigronden om de doorlatendheid te verbeteren, heeft algemeen geen effect. In het buitenland wordt met dit doel vaak moldrainage toegepast, meestal in combinatie met buisdrainage. Hierbij worden met een onderlinge afstand van 2 à 3 m molgangen in het profiel getrokken. Ook bij slecht doorlatende mosveengronden wordt dit systeem wel toegepast.

Onder Nederlandse omstandigheden neemt de doorlatendheid na verbetering van de ontwatering meestal toe als gevolg van scheurvorming bij uitdroging en toenemende biologische activiteit onder andere bij komklei- en knipkleigronden.

Verdichtingen beneden de bouwvoor (ploegzool) bij bouwland kunnen meestal worden opgeheven door ondiep (0,4 m) woelen met een ganzevoet.

Ook de doorlatendheid van een verdichte toplaag bij kleigrasland op jonge zeekleigronden in de IJsselmeerpolders kan door tot circa 0,3 m te woelen, althans tijdelijk worden verbeterd. Na een beweiding in natte perioden dienen dergelijke bewerkingen herhaald te worden. Algemeen geldt dat woelen niet onder natte omstandigheden mag worden uitgevoerd. Bij een ronde ligging van de akkers, afhellend naar de drainreeksen, kan volstaan worden met één woelgang boven de drainreeks.

Bij lage zandgronden met slecht doorlatende dichte en verkitte lagen worden brede of scherpe woelers gebruikt om de doorlatendheid te verbeteren.

Uitvoering van cultuurtechnische werken met zware machines als bijvoorbeeld bulldozers, vooral onder natte omstandigheden, zijn vaak oorzaak van verdichting in de ondergrond beneden de bouwvoor. Nadien is woelen vaak noodzakelijk om verdichtingen weer op te heffen.

4.6.10. Werktuigen voor profielverbetering

Afhankelijk van het doel worden bij grondverbetering diverse werktuigen gebruikt, onder andere:

Bewerkings- diepte	Werktuig	Doel
0,5-1,5 m	scherpe woeler	losmaken van dichte ondergrond, breken van vaste storende lagen
0,5-1,5 m	brede woeler	losmaken en vermengen van ondergrond, heterogeen profiel
max. 1 m	mengwoeler	losmaken van ondergrond en vermenging van boven- en ondergrond, heterogeen profiel
max. 1 m	diepfrezer en diepspitter	losmaken van ondergrond en intensieve menging van boven- en ondergrond (homogeen profiel)
max. 2 m	diepploeg met 1 rister	diagonale kering van lagen
	diepploeg met 2 risters	kerend ploegen om ondergrond aan de oppervlakte te brengen
	diepploeg met 2 risters	conservatief ploegen om de bouwvoor boven te houden
max. 2 m	mengploegwoeler	met verstelbare risters een regelbare menging tot stand brengen, afhankelijk van het bodemprofiel
max. 3 m	grondvrijzel (bezandings- machine)	bezanding van toplaag met zand uit ondergrond of vervanging van kalkarme kleibouwvoor door kalkhoudende klei uit ondergrond

Globale volgorde van kosten: woeler → mengwoeler → diepploeg → mengrotor.

4.6.11. Literatuur

- Bakker, J.W. and A.P. Hidding, 1970.
The influence of soil structure and air content on gas diffusion in soil. Neth. J. Agric. Sci. 18: p.37-48.
- Boekel, P. en A. Pelgrum, 1971.
Verschraling van kleigronden in de akkerbouw. Cultuurtechn. Tijdschr. 10(5): p.220-229.
- Borst, N.P., C. Zijdewind en C. van Groningen, 1972.
Grondverbetering op Texel. Bedrijfsontw. 3(5): p.463-468.
- Dam, J.G.C. van, 1975.
Bodemgeschiktheidsonderzoek in de aspergeteelt. Bedrijfsontw. 6(9): p.777-778.
- Duin, R.H.A. van, 1982.
Verbetering van het bodemprofiel. College dictaat Bodemtechniek, deel C. Landbouw Hogeschool, afd. Cultuurtechniek, Wageningen.
- Feijtsma, K.S., 1969.
Grondverbetering in het noordwestelijk deel van Oostelijk Flevoland. Cultuurtechn. Tijdschr. 9(2): p.86-98.
- Havinga, L., 1978.
Effecten en gewasreactie ten gevolge van diepe grondbewerking op plaatgronden. Cultuurtechn. Tijdschr. 18(2): p.97-102. Ook Verspr. Overdr. 220, Instit. voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Wageningen.
- Hemminga, M.A., 1964.
De uitvoering van grondverbeteringen in de IJsselmeerpolders. Van Zee tot Land nr. 39: p.90-112.

- Hidding, A.P., 1963.
Verbetering van plaatgronden. Resultaten van het verdiepen van de doorwortelbare zone van plaatgronden. Verspr. Overdr. 8. Instit. voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Wageningen.
- Hidding, A.P., 1965.
Untersuchungen zur Beeinflussung schwerer Tonböden durch Kulturtechnische Massnahmen. Verspr. Overdr. 23. Instit. voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Wageningen.
- Hoogerkamp, M., 1976
De beworteling van grassen. De Buffer 22(1): p.5-18.
- Hooghoudt, S.B., D. van der Woerd en H. van Dijk, 1960.
Fysisch-chemisch onderzoek naar de oorzaken van irreversibele indroging van veengronden en de mogelijkheden van verbetering. Versl. Landbouwk. Onderz. 66.23: p.1-76.
- Houben, J.M.M.Th., 1980.
Mogelijkheden van profielverbetering op zandgronden. Cultuurtechn. Tijdschr. 19(6): p.312-325.
- Houben, J.M.M.Th., 1981.
Bodemdichtheid en gewasgroei. Cultuurtechn. Tijdschr. 21(3): p.144-158.
- Hurink, H. en Paskamp, 1960.
Ervaringen met mechanische grondverbetering in Oost-Overijssel. Tijdschr. Kon. Ned. HeideMij 71(5): p.132-139.
- Jonge, L.J.A. de, 1960.
De verbetering van verdroogde veengronden. Versl. Landbouwk. Onderz. 66.23: p.198-256.
- Schothorst, C.J. en D. Hettinga, 1983.
Grondverbetering: alternatief voor beregning van grasland op lichte zandgrond? Bedrijfsontw. 14(2): p.115-122. Ook Cultuurtechn. Tijdschr. 22(4): p.213-226.
- Verhaegh, W.B. en R. Wiebing, 1978.
Verbetering van veldpodzolen. De vochtuithouding van 1975-1977. Nota 1041, Instit. voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Wageningen.
- Wiebing, R. en G.P. Wind, 1979.
Bodemverbeteringsonderzoek in de Veenkoloniën. Cultuurtechn. Tijdschr. 18(6): p.293-307. Ook Verspr. Overdr. 246, Instit. voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Wageningen.
- Wind, G.P. 1963.
Verbetering van plaatgronden. Het theoretisch te verwachten effect van plaatgrondverbetering. Verspr. Overdr. 8. Instit. voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Wageningen.
- Wind, G.P., 1967.
Rootgrowth in acid soils. Neth. J. Agric. Sci. 15: p.259-266.
- Wind, G.P., 1969.
Grondverbetering. Cultuurtechn. Verhand. Ook Verspr. Overdr. 79. Instit. voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Wageningen.
- Wind, G.P. and R.A. Pot, 1976.
Bodenverbesserung in den holländischen Veenkoloniën. Zeitschrift f. Kult.techn. und Flurb. 17. Ook Verspr. Overdr. 191, Instit. voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Wageningen.
- Woerd, D. van der, 1959.
De verbetering van verdroogde veengronden. Versl. Landbouwk. Onderz. 66.23: p.198-256
- Wijk, A.L.M. van, in voorbereiding.
Bodemtechniek Cursus Bodemkunde. Min. van Landbouw en Visserij, afd. Scholing.

4.7. Draagkracht van graslandgronden

4.7.1. Algemeen

Onder draagkracht of draagvermogen van een grond wordt verstaan de weerstand die de top laag kan bieden aan een uitgeoefende druk zonder insporing of vervorming te ondergaan.

Venige gronden

De draagkracht van de zodelaag van grasland op laag gelegen, sterk humeuze en venige zandgronden en op ondiep ontwaterde veen- en klei op veengronden is in natte perioden vaak onvoldoende voor berijden en beweiding.

Kleigronden

Onder natte omstandigheden is grasland op kleigrond, vooral jong grasland, eveneens vertrapingsgevoelig, ofschoon in dit verband meer sprake is van verkneding en versmearing van de grasmatten (*Keunings*, 1963). Hetzelfde geldt voor verdichting en spoorvorming bij berijden met zware werktuigen. Verkneding en verdichting gaat gepaard met structuurbederf. Hierdoor neemt het gehalte van grote poriën af en daarmee de infiltratiecapaciteit en het luchtgehalte. In daaropvolgende droge perioden droogt de grond hard op en verloopt de hergroei traag.

Algemeen zijn kleigronden minder gevoelig voor vertrapping en insporing dan venige gronden vanwege een meestal diepere ontwatering en een snel opdrogen na natte perioden. De nadelige gevolgen van een beschadigde kleizodelaag zijn echter van langduriger aard dan bij venige gronden. Een eenmaal vertrapte zodelaag is extra gevoelig in een volgende natte periode. Dit geldt echter voor alle graslandgronden.

Grasmatten

De mechanische sterkte van de zodelaag wordt mede bepaald door de botanische samenstelling van de grasmatten en de bedekkingsgraad.

Een viltige zode van struis- en roodzwenkgras versterkt de draagkracht evenals de rizomenvormende grassen als veldbeemd en kweekgras, in tegenstelling tot pollenvormende grassen zoals het meest produktieve en zeer betredingsresistente Engels raaigras.

Een dichte gesloten mat zoals die op oude kleigraslanden veel voorkomt, heeft eveneens meer sterkte dan die van jonge weiden met een nog open zode.

4.7.2. Indringingsweerstand

De draagkracht kan gerelateerd worden aan de indringingsweerstand (I_w) van de zodelaag. Hierbij wordt meestal een penetrometer gebruikt met een conus met een basisoppervlak van 5 cm² en een tophoek van 60°. Voor het meten van hoge weerstanden zoals op sportvelden voorkomen, gebruikt men een conus van 1 cm². De omrekeningsfactor voor I_w bij een conus van 5 cm² naar 1 cm² bedraagt 1,44 (*Beuving*, 1981).

In het algemeen is bij een I_w -waarde van $< 0,5$ MPa de draagkracht onvoldoende en bij $I_w > 0,7$ MPa goed. Voor grasland wordt als norm aangehouden $I_w = 0,6$ MPa (Schothorst, 1965). Voor sportvelden wordt een I_w -waarde verlangd van 1 tot 1,4 MPa gemeten met een conus van 1 cm² basisoppervlak (Van Wijk, 1980).

De mechanische sterkte van een zodelaag is afhankelijk van:

- dichtheid van de zodelaag;
- vochtspanning in de zodelaag;
- fracties van organische stof, lutum en zand;
- grasland en bedekkingsgraad.

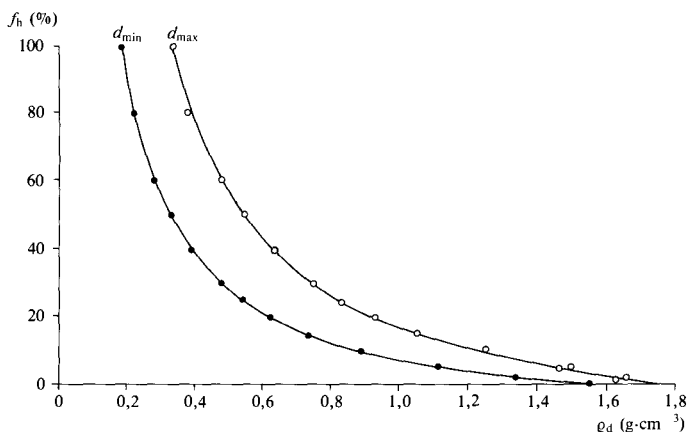
4.7.3. Dichtheid van de zodelaag

Minimale en maximale dichtheid

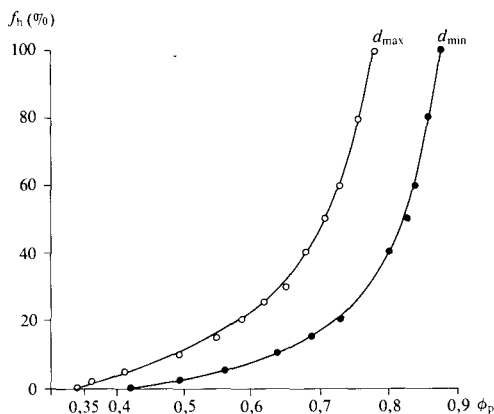
Zand zonder organische stof kan in dichtheid variëren van zeer los waarbij $\rho_d = 1,34$ g·cm⁻³ en $\Phi_p = 0,45$, tot zeer dicht waarbij $\rho_d = 1,63$ g·cm⁻³ en $\Phi_p = 0,35$ (Schuurman e.a., 1974).

Naarmate het organische-stofgehalte van een grond hoger is, neemt de volumedichtheid af en de poriënfractie toe evenals het specifiek of massiek volume. Bij een zelfde organische-stofgehalte kan de volumedichtheid echter binnen zekere grenzen variëren. Men kan bij grond in veldtoestand een maximale respectievelijk een minimale dichtheid onderscheiden afhankelijk van het organische-stofgehalte f_h , zie figuur 4.7.1 a t/m c naar Schothorst (1968). Deze figuren gelden voor de zodelaag van diverse graslandgronden.

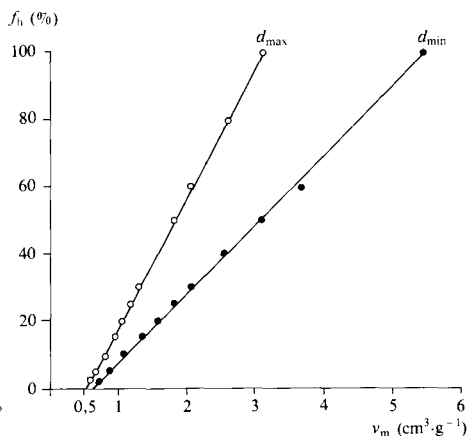
Het verband tussen f_h en het specifieke volume (v_m) is zowel bij minimale als bij maximale dichtheid lineair (figuur 4.7.1c). Genoemde relatie is gekoppeld aan een dichtheidsfactor overeenkomende met de rijpings- respectievelijk dichtheidsfactor van klei-



Figuur 4.7.1a. Het verband tussen het organische-stofgehalte f_h en de volumedichtheid (ρ_d in g·cm⁻³) bij minimale (d_{min}) en maximale dichtheid (d_{max}).



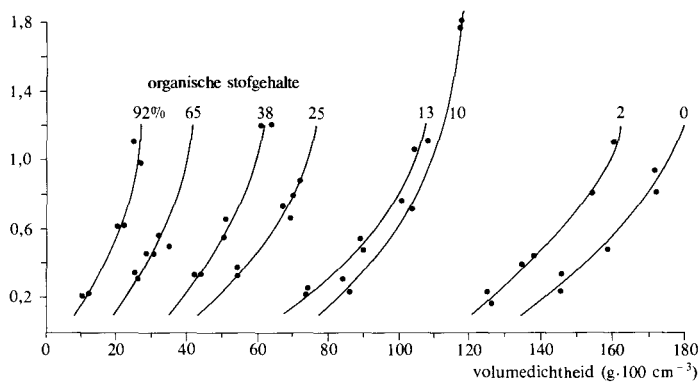
Figuur 4.7.1b.
Het verband tussen het organische-stofgehalte f_h en de poriënfractie (Φ_p) bij minimale ($d_{\min}$) en maximale dichtheid ($d_{\max}$).



Figuur 4.7.1c.
Het verband tussen het organische stofgehalte f_h en het specifiek of massiek volume (v_m in $\text{cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$) bij minimale ($d_{\min}$) en maximale dichtheid ($d_{\max}$).

gronden, zie hoofdstuk II. 4.4.2. De I_w -waarde is zeer laag bij minimale dichtheid en neemt toe met de dichtheid bij een gegeven f_h -waarde, zie figuur 4.7.2. Uit figuur 4.7.2 kan men afleiden dat een zandige toplaag met $f_h = 0,02$, $\rho_d = 1,60 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ en $\Phi = 0,38$ een zelfde mechanische sterkte heeft als een venige toplaag met $f_h = 0,65$, $\rho_d = 0,4 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ en $\Phi_p = 0,75$.

indringings-
weerstand
(MPa)



Figuur 4.7.2. Verband tussen indringingsweerstand en volumedichtheid in samenhang met het organische-stofgehalte van de grond bij een vochtspanning van pF2 (Schothorst, 1968).

4.7.4. Invloeden op dichtheid

Een zeer losse toplaag treft men aan bij nieuw ingezaaid grasland. Onder invloed van beweiding (betreding) en berijden met werktuigen wordt een zekere verdichting bereikt. Anderzijds kan verdichting tot stand komen door krimp als gevolg van uitdroging bij veen- en kleigronden. Voornoemde processen van verdichting zijn geheel verschillend. Bij verdichting door belasting verdwijnen de grote poriën, neemt de doorlatendheid af evenals de infiltratiecapaciteit voor neerslag. Verdichting door uitdroging gaat gepaard met een toename van grote poriën en krimpscheuren waardoor de doorlatendheid sterk toeneemt en onder extreme omstandigheden zo groot wordt, dat neerslag direct via de scheuren naar de ondergrond zakt zonder de toplaag voldoende te bevochtigen. Dit betreft het zogenaamde kortsluitingseffect (*Dekker, 1983, Schothorst en Hettinga, 1977*). Irreversibel ingedroogde veengronden worden gekenmerkt door een zeer goede draagkracht. De meest extreme vorm van ingedroogd veen is turf.

Extreme vormen van verdichting zowel als gevolg van berijden of als gevolg van indroging dienen voorkomen te worden, enerzijds door niet te berijden of te beweiden onder natte omstandigheden, anderzijds door in perioden van droogte tijdig te beregenen. Snel herstel van een te sterke indroging is te bereiken via bevoeiing.

4.7.5. Vochtspanning en ontwateringsdiepte

Naarmate de vochtspanning (pF) meer negatief wordt, neemt de draagkracht toe. De vochtspanning is afhankelijk van de grondwaterdiepte, respectievelijk de ontwateringsdiepte en van het verdampings- respectievelijk neerslagoverschot.

Een ondiepe ontwatering van veen- en klei op veengronden gaat gepaard met langdurige perioden van lage vochtspanning in de toplaag, waarbij de dichtheid tevens afneemt als gevolg van opzwellling. Een ondiepe ontwatering heeft een dubbel ongunstig effect op de draagkracht van venige gronden. Bij grasland wordt voor het behoud van een goede draagkracht de eis gesteld dat de grondwaterstand niet hoger mag stijgen dan 0,3 m – mv. In de herfst na een droge zomer zijn voor korte perioden hogere grondwaterstanden dan 0,3 m – mv toelaatbaar, terwijl in het voorjaar na een natte winter grondwaterstanden van 0,4 à 0,5 m – mv nog niet voldoende zijn om weer een goede draagkracht te bereiken.

In droge perioden neemt de draagkracht als gevolg van hogere vochtspanningen in de zodelaag toe door verdamping. Oorspronkelijk natte en slappe veengronden zijn in droge perioden algemeen voldoende draagkrachtig (*Schothorst, 1965, 1974 en 1978*).

Naargelang de dichtheid van de toplaag groter is, kan met lagere vochtspanningen worden volstaan voor het behoud van een voldoende draagkracht. Bij een geringe dichtheid worden hogere vochtspanningen vereist om een voldoende draagkracht te bereiken (*Schothorst, 1982*).

Zeer gevoelig voor vertrapping van de zodelaag is nieuw ingezaaid grasland bij lage vochtspanningen mede door de geringe dichtheid en de nog open zode. Om deze reden mag nieuw ingezaaid grasland niet onder natte omstandigheden worden beweide of bereden.

4.7.6. Verbetering van draagkracht

Verbetering van de draagkracht resulteert in de eerste plaats in een verbetering van de gebruiksmogelijkheden van de grond. Het is het meest van belang bij een intensieve bedrijfsvoering. Het is van belang in verband met:

- het tijdig kunnen afvoeren van drijfmest. Dit bespaart op kosten voor opslagruimte;
- het tijdig toedienen van stikstof in het voorjaar. Dit vervroegt de produktie met gemiddeld 4 dagen in het voorjaar. In een nat voorjaar is het aanzienlijk meer (*Schothorst*, 1980);
- beperking van beweidingsverliezen in natte perioden tijdens het weideseizoen;
- versnelling van de ruwvoerwinning gepaard gaande met een betere kwaliteit van het gewonnen ruwvoer;
- vervroeging van het weideseizoen in het voorjaar en verlenging in het najaar. Alles te samen kan het resulteren in een hogere netto-produktie met lagere arbeidskosten.

Ontwatering

Voor het behoud of bereiken van een algemeen voldoende draagkracht is allereerst een goede ontwatering vereist. Aan de algemene eis dat een grondwaterstand niet hoger mag stijgen dan tot 0,3 m –mv, kan bij goed doorlatende veengronden zonder mineraal dek (bosveen) worden voldaan bij een slootpeil van 0,8 m –mv en slootafstanden < 50 m. Dit geldt voor gebieden met weinig of geen kwel.

Slecht doorlatende veengronden (mosveengronden) en veengronden met een kleidek vereisen bij dezelfde slootafstand een slootpeil van circa 1 m –mv. Bij grotere slootafstanden is aanvullende detailontwatering nodig in de vorm van greppels of bij voorkeur in de vorm van buisdrainage.

In verband met mogelijke opbrengstdepressies in droge perioden zijn grondwaterstanden dieper dan 0,8 m –mv ongewenst.

Effect van diepere ontwatering op proefvelden

Door diepere ontwatering (peilverlaging van 0,25 naar 0,75 m –mv) werd op veengrond zonder mineraal dek (Zegveld) gemiddeld een netto meeropbrengst verkregen van 10% (*Boxem en Leusink*, 1978). Algemeen wordt in het voorjaar door diepere ontwatering een hogere bruto-grasproduktie bereikt, zie tabel 4.7.1 naar *Schothorst* (1978).

Tabel 4.7.1. De opbrengst van droge stof van de eerste snede in ton per ha op drie ontwateringsproefobjecten, gemiddeld over de periode van 1970 t/m 1974. (*Schothorst*, 1978).

Proefobject	Slootpeil (m –mv)	Stikstof (kg per ha)		Slootpeil (m –mv)	Stikstof (kg per ha)	
		0	100		0	100
Hoenkoop	0,4	2,3	3,4	1,0	3,3	4,0
Bleskensgraaf	0,4	1,8	3,0	1,0	2,7	3,7
Zegveld	0,25	2,1	2,6	0,7	2,9	3,3
gemiddeld		2,1	3,0		3,0	3,7

Gemiddeld over 5 jaar werd bij een laag slootpeil van 0,7 tot 1 m –mv en bij een N-gift van 100 kg per ha een meeropbrengst bereikt van 22 % op een zelfde maaidatum. Bovendien blijkt dat bij laag slootpeil zonder N-bemesting gemiddeld een zelfde opbrengst werd bereikt als bij een hoog slootpeil van 0,2 tot 0,4 m –mv en een N-gift van 100 kg per ha. Bij diepere ontwatering komt meer stikstof uit de bodem vrij als gevolg van mineralisatie van organische stof. Dit gaat echter gepaard met een versterking van het zakkingsproces, zie hoofdstuk II. 4.4.3.

Een ander bezwaar van diepere ontwatering speciaal van veengronden zonder mineraal dek is de kans op toename van droogtegevoeligheid. Hierdoor kunnen in droge jaren opbrengstdepressies optreden die echter voorkomen kunnen worden door tijdig te beregenen of door te bevoelen na sterke uitdroging van de wortelzone. (*Schothorst en Hettin-ga*, 1977).

Verlaging van het organisch-stofgehalte

Bij ondiepe ontwatering zoals dat bij vele graslanden het geval is, neemt de mechanische sterkte van de zodelaag af naarmate het organische-stofgehalte (f_h) hoger is. Bij een hoge f_h -waarde is de dichtheid sterk aan veranderingen onderhevig in verband met zwel- en krimpverschijnselen en vanwege een grotere gevoeligheid voor opvriezen in vorstperiodes. Anderzijds kan een diepe ontwatering oorzaak zijn van droogteverschijnselen en scheurvorming in droge perioden, speciaal bij veengronden zonder mineraal dek.

Bij ondiepe ontwatering wordt de grootste mechanische sterkte bereikt bij een laag humusgehalte van minder dan 8 %. Zelfs in perioden waarbij de top laag in nagenoeg verzadigde toestand verkeert, is de grond dan nog berijdbaar.

Verlaging van het organische-stofgehalte van een venige top laag kan vooral bij een ondiepe ontwatering de draagkracht aanzienlijk versterken. Dit is mogelijk door bezanden en bij ondiepe veenprofielen door diepploegen of mengwoelen.

Bezanding

Voor het bezanden van venige gronden bestaan verschillende methoden, namelijk:

- aanvoer van zand van elders via mechanisch transport;
- het gebruik van een bezandingsmachine of grondvijzel;
- het opspuiten van zand via hydraulisch transport.

Eerstgenoemde methode werd in het verleden toegepast onder andere bij ontginningen van restveengronden en bij verbetering van broekveengronden.

BEZANDING MET GRONDVIJZEL

De bezandingsmachine kan ter plaatse bij veendiktes tot 3 m zand uit de ondergrond opvijzelen. Bij een werkingsbreedte van 12 à 14 m wordt een laag van 5 tot 10 cm zand over de onbehandelde zodelaag aangebracht. Met het doel het humusgehalte van de nieuwe top laag zo laag mogelijk te houden, mag het zand niet met de oude zodelaag worden gemengd.

Een bezandingsdikte met een variatie 5 tot 10 cm is voldoende voor een goede draagkracht bij ondiepe ontwaterde veengronden (*Schothorst en Beuving*, 1968).

Bezwaren van deze methode zijn:

- egalisatie van ongelijk gelegen gronden is niet mogelijk;
- het ontstaan van diepe sleuven met een onderlinge afstand van circa 14 m.

Deze dienen met een overmaat van opgevijseld zand weer te worden gedicht, waarna de sleuven als greppels functioneren. Zij vormen echter een aangrijpingspunt voor vertrapping en hebben de normale bezwaren aan greppels verbonden.

EFFECT VAN BEZANDING

Door bezanding met gemiddeld 7 cm werd bij een polderpeil van 0,3 m –mv in Noordwest-Overijssel een goede draagkracht bereikt waarbij gemiddeld een meeropbrengst werd verkregen van 15% (*Schothorst en Beuving, 1968*).

BEZANDING DOOR OPSPUITEN

In combinatie met zandwinning ten behoeve van wegeaanleg wordt ook bezanding toegepast via hydraulisch transport door opspuiten. Deze methode stelt hoge eisen aan de bepaling van de hoeveelheid op te brengen zand en de regelmatige verdeling ervan. Zanddiktes van meer dan 15 cm zijn gezien de ervaring in Friesland en Noordwest-Overijssel schadelijk vanwege optredende droogteverschijnselen in droge perioden. Een aanvullende maatregel in de vorm van mengwoelen is dan noodzakelijk (*Klooster, 1979*).

Een bezanding van 5 tot 10 cm is optimaal, zowel uit oogpunt van draagkracht als uit oogpunt van droogtegevoeligheid.

Diepploegen en mengwoelen

Ondiepe veenprofielen met een niet lemige zandondergrond en een veendikte van maximaal 1,3 m worden gediepploegd of gemengwoeld, meestal in combinatie met egalisatie. Dit laatste kan nodig zijn vanwege een vaak voorkomende ongelijke ligging van het maaiveld van dergelijke veengronden. Diepploegen wordt meestal toegepast in combinatie met het dichten van sloten. In andere gevallen wordt de voorkeur gegeven aan mengwoelen vanwege lagere kosten.

Het diepploegen of mengwoelen dient zodanig te worden uitgevoerd dat een nieuwe toplaag ontstaat met een organische-stofgehalte van 4 tot 8%. Bij lagere f_h -waarden kan de toplaag te dicht worden, vooral onder natte omstandigheden met de gevolgen van plasvorming en luchtgebrek. Anderzijds zijn f_h -waarden $> 0,08$ ongewenst. Onder natte omstandigheden is een zodelaag met $f_h = 0,1$ al vertrappingsgevoelig. De oude zodelaag wordt bij zowel diepploegen als mengwoelen door het profiel gewerkt.

Verbetering van de draagkracht door mengwoelen of diepploegen resulteerde meestal in een hogere bruto-grasproductie die echter hoofdzakelijk is toe te schrijven aan de vernieuwing van het grasbestand.

4.7.7. Literatuur

- Beuving, J., 1981.
Invloed van conus afmeting op de penetrometerweerstand van grond. Cultuurtechn. Tijdschr. 21(2): p.109-115. Ook Meded. 9, Instit. voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Wageningen.
- Boxem, Tj. en A.W.F. Leusink, 1978.
Ontwatering van veengrasland. Publ. 11. Proefstation voor de Rundveehouderij, Lelystad.
- Dekker, L.W., J. Bouwma, W. Luten en G. Krist, 1981.
Effectiviteit van berekening op komkleigrasland. Cultuurtechn. Tijdschr. 20(5): p.263-270.
- Dekker, L.W., 1983.
Effectiviteit van het berekenen van moeilijk bevochtigbare veengronden. Cultuurtechn. Tijdschr. 22(6): p.369-375.
- Keunings, F.F.R., 1963.
The puddling of clay soils. Neth. J. Agric. Sci. II: p.145-156.
- Klooster, M., 1979.
Bezanding van veengrasland. Cultuurtechn. Tijdschr. 19(2): p.99-107.
- Schothorst, C.J., 1965.
Weinig draagkrachtig grasland. Landb. Voorl. 10, 11 en 12. Ook Verspr. Overdr. 30, Instit. voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding.
- Schothorst, C.J. 1968.
De draagkracht van graslandgronden. Meded. 53. Instit. voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Wageningen.
- Schothorst, C.J. en J. Beuving, 1968.
Het resultaat van een proef met bezanding van veengrasland. Nota 485. Instit. voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Wageningen.
- Schothorst, C.J., 1968.
De relatieve dichtheid van humeuze gronden. De Ingenieur 80(2); p.B1-B8. Ook Verspr. Overdr. 53, Instit. voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Wageningen.
- Schothorst, C.J., 1974.
Effecten van polderpeilverlaging voor veenweidegronden in de Alblasserwaard. Cultuurtechn. Tijdschr. 14(2): p.48-61. Ook Meded. 149, Instit. voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Wageningen.
- Schothorst, C.J. en D. Hettinga, 1977.
Ervaringen met berekening op veengrond in 1976. Nota 991. Instit. voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Wageningen.
- Schothorst, C.J. 1978.
Het ontwateringsonderzoek in het westelijk veenweidegebied. Gebond. versl. nr. 18: p.36-85. Ned. Ver. Weide- en Voed.b.
- Schothorst, C.J. 1980.
De voorjaarsproductie en het effect van ontwatering in diverse veenweidegebieden. Nota 1233. Instit. voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Wageningen.
- Schothorst, C.J. 1982.
Drainage and behaviour of peat soils. Proceed. of the Symp. on peat lands below sea level. Rp. 30. Int. Inst. for Land Recl. and Impr., Wageningen.
- Schuurman, J.J., J.J.H. de Boer en L. Knot, 1974.
De reactie van wortelgroei, opname en spruitgroei van haver op dichtheid van zandgrond. Landbouwk. Tijdschr. 86(10): p.256-265.
- Wind, G.P. and C.J. Schothorst, 1964.
The influence of soil properties on suitability for grind and of grazing on soil properties. 8th Congr. Soil Sci. Bucharest. Verspr. Overdr. 56. Instit. voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Wageningen.
- Wijk, A.L.M. van, 1980.
A soil technological study on effectuating and maintaining adequate playing conditions of grass sports-fields. Agric. Res. Rep. 903, 124 p. Pudoc, Wageningen,

4.8. Bodemverdichting

4.8.1. Algemeen

Onder bodemverdichting wordt hier verstaan een afname van de poriënfractie (ϕ_p) en een toename van de volumedichtheid (ρ_d) als gevolg van het gebruik van zware werktuigen of als gevolg van intensieve betreding bij beweiding. Dit betreft dus een verdichting van antropogene aard ter onderscheiding van verdichtingen van geogene (ontstaan tijdens de afzetting van het bodemmateriaal) en hydrogene (ontstaan door inspoeling) aard. Een verdichting als gevolg van het gebruik van werktuigen is afhankelijk van:

- de dichtheid in de uitgangssituatie;
- het vochtgehalte respectievelijk de vochtspanning.

Naarmate een grond in de uitgangstoestand losser is, kan meer verdichting optreden, hetgeen tot uiting komt in verschil van diepte van insporing bij in het voorjaar bewerkte grond ten opzichte van een grond in het najaar vóór bewerking bij een gelijke vochttoestand.

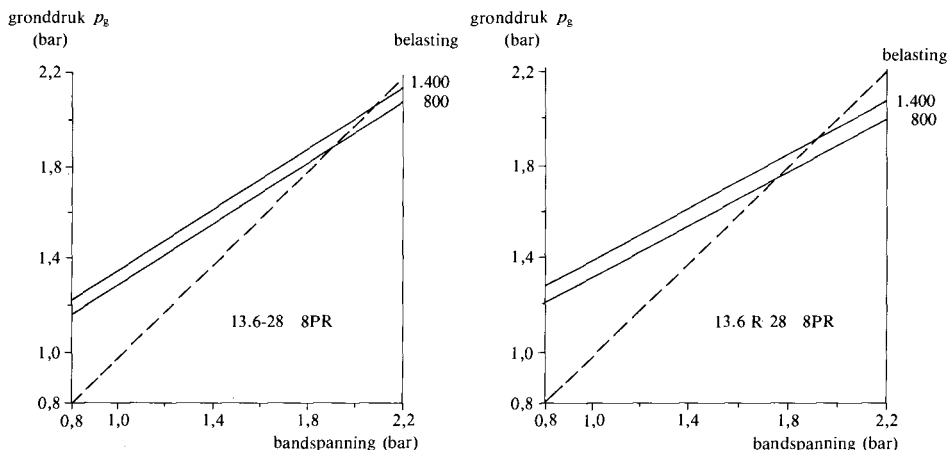
Het vochtgehalte is in deze aan een optimum verbonden, zie onder andere *Daniëls* (1977). Droge grond wordt weinig verdicht vanwege een grote wrijvingsweerstand van droge gronddeeltjes. Bij zeer natte grond die in ongeveer verzadigde toestand verkeert, treedt vervorming op in plaats van verdichting, doordat water moet worden weggeperst om tot een grotere verdichting te kunnen geraken. Dit gaat wel gepaard met sterke spoorvorming en versmering, waardoor de doorlatendheid sterk afneemt.

4.8.2. Gronddruk en bandspanning

De door machines uitgeoefende gronddruk (p_g in bar) is in het contactvlak van band en grond sterk afhankelijk van de bandspanning (p_b in bar) zie figuur 4.8.1. Volgens een vuistregel is p_g gemiddeld 1,2 à 1,3 maal p_b 1 bar is 0,1 MPa $\cong$ 1 kg·cm⁻².

Volgens figuur 4.8.1 blijkt dat de bandbelasting weinig invloed heeft op p_g . Dit hangt samen met het feit dat een luchtband bij constante spanning en toenemende belasting steeds verder afplat, waardoor het contactoppervlak bijna evenredig toeneemt, zodat de gemiddelde gronddruk vrijwel constant blijft. Dit betreft bandvervorming op een harde ondergrond. Op een zachte ondergrond vervormt niet alleen de band maar ook de grond, waardoor de band inspoort. Enerzijds wordt hierdoor het contactvlak vergroot, anderzijds zal de band minder afplaten. Beide effecten zullen elkaar ongeveer opheffen. Dit betekent dat de bandspanning moet worden aangepast aan de draagkracht van de toplaag van de grond om insporing zoveel mogelijk te voorkomen. Volgens onderzoek blijkt dat met $p_b = 1$ bar maximaal, overeenkomende met $p_g = 1,3$ bar, sterke verdichtingen worden voorkomen. Dit geldt bij een pF-waarde van 2,2 en hoger.

Ook weinig draagkrachtige graslandgronden zijn goed berijdbaar mits $p_b \leq 1$ bar respectievelijk $p_g \leq 1,3$ bar. Voor een losse natte grond worden lagere waarden aanbevolen van $p_b = 0,5$ tot 0,75 bar (*Perdok en Terpstra*, 1983).



Figuur 4.8.1. Relatie gronddruk (p_g) en bandspanning (p_b) bij een belasting van 1.400 en 800 kg voor een 13.6 28 8 PR diagonaalband en een 13.6 R 28 8 PR radiaalband.

Draagvermogen van banden

Het draagvermogen van een landbouwband is sterk afhankelijk van de bandafmetingen, de bandspanning en de rijnsnelheid. Een halvering van de bandenspanning van 2 tot 1 bar betekent dat het draagvermogen tot circa 67% afneemt.

Het gemiddeld gewicht van een trekker bedraagt circa 3,5 ton en het totaalgewicht van landbouwwagens 12 à 16 ton (Kouwenhoven en Vulink, 1983). Om de gronddruk aan het oppervlak gelijk te houden, worden de hoge gewichten opgevangen door het gebruik van bredere banden. Hierdoor neemt de druk in de diepte toe, zie figuur 4.8.2. Tevens neemt de toelaatbare bandspanning toe van 0,8 tot 1,1 bar en daarmee de druk op en in de grond.

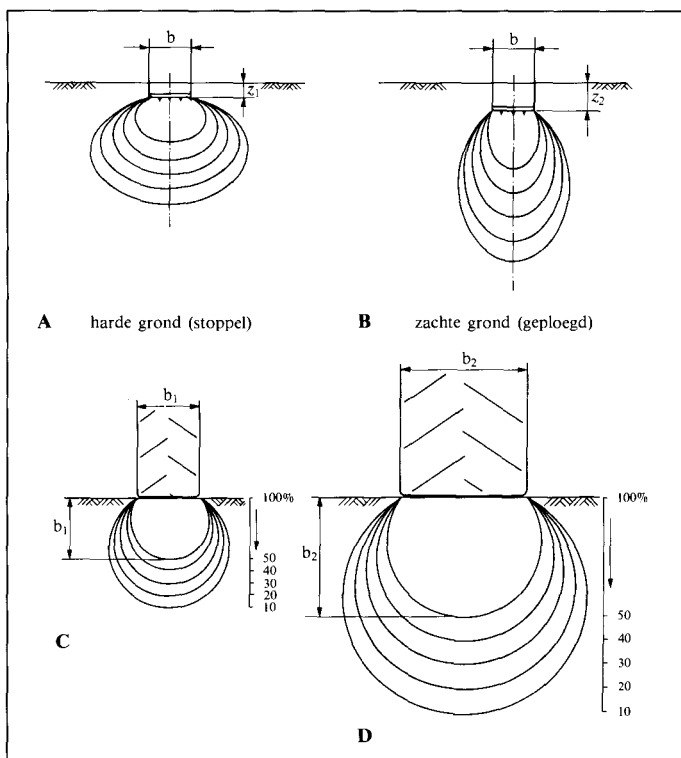
4.8.3. Drukverdeling in de bodem

De druk door een luchtband op het maaiveld uitgeoefend, zal zich cirkel- of ellipsvormig in het bodempofiel voortplanten, zie het verloop van de isobaren (lijnen van gelijke druk) in figuur 4.8.2 (Perdok en Terpstra, 1983).

- hoe droger en steviger de grond, hoe breder en minder diep de isobaren verlopen (figuur 4.8.2a);
- hoe vochtiger en zachter de grond, hoe smaller en dieper het verloop (figuur 4.8.2b);
- de grootte van de isobaren wordt voornamelijk bepaald door de bandbreedte (figuur 4.8.2c en 4.8.2d).

Als vuistregel geldt dat de gronddruk ten opzichte van het contactvlak wordt gehalveerd op een diepte gelijk aan de spoorbreedte.

Figuur 4.8.2.
Drukverdeling onder
landbouwbanden op
harde en zachte grond
en bij verschillende
bandbreedtes, b , b_1 en b_2 .



Het risico van ondergrondverdichting is gering mits de bandbreedte beperkt blijft tot circa 50 cm en de bandspanning laag wordt gehouden (circa 1 bar). Volgens voornoemde vuistregel bedraagt p_g dan op 50 cm diepte circa 0,6 bar.

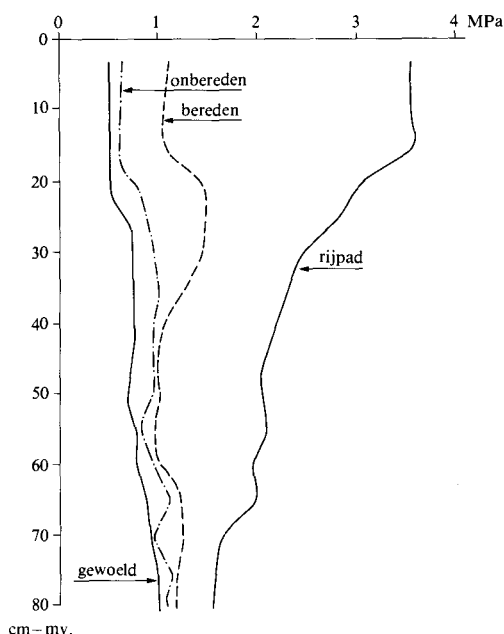
4.8.4. Verdichting door trilling

Bij uitvoering van cultuurtechnische werken kan door gebruik van zware trillende machines als rupstrekken bij zandgrond extra verdichting ontstaan als gevolg van trilling. Het effect van trilling is zelfs groter en sneller dan van de gronddruk (*De Haan en Wind*, 1966), zoals ook blijkt uit het gebruik van trilapparatuur bij de wegebouw. Naarmate de trillingsduur langer is, neemt het effect met de diepte toe.

4.8.5. Opheffing van verdichting

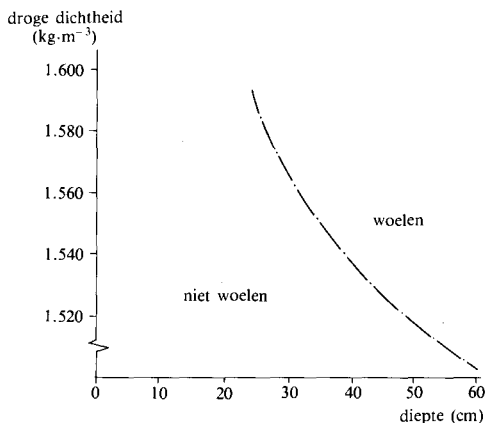
De gevolgen van verdichting door toenemende drukbelasting komen tot uiting in verhoogde penetrometerweerstand, zie figuur 4.8.3.

Figuur 4.8.3.
*Indringsweerstand
 op een rijbanenproef-
 veld van het IMAG
 (conus 2 cm²; op rijpad
 1 cm²) (naar: Lamers en
 Perdok, 1982)*



Het al of niet toepassen van woelen om een verdichting op te heffen, hangt af van de dichtheid in relatie met de diepte en het te verwachten blijvend effect (Havinga, 1975). Een blijvend effect van het woelen is te verwachten bij een zekere dichtheid afhankelijk van de diepte, zie figuur 4.8.4. Op 30 cm diepte moet de dichtheid (ρ_d) groter zijn dan $1,56 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ en op 45 cm diepte meer dan $1,52 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$. Dit komt overeen met een poriënfractie van 0,41 respectievelijk 0,43. Dit geldt voor zand- en zavelgronden.

Figuur 4.8.4.
*De dichtheid van het
 profiel op zand en zavel-
 grond als criterium voor
 diepe bewerking (naar
 Havinga, 1975).*



4.8.6. Literatuur

- Daniëls, D., 1977.
Vochtgehalte en verdichting van grond. Rp. 9. Instit. voor Bodemvruchtbaarheid, Haren.
- Haan, F.A.M. de, en G.P. Wind, 1966.
Bodemverdichting als gevolg van de wijze van uitvoering van grondverbeteringswerkzaamheden. Tijdschr. Kon. Ned. HeideMij 77(6): p. 244-249.
- Haan, F.A.M. de, en G.G.M. van der Valk, 1969.
Verband tussen bodemverdichting en waterbeheersing, speciaal met betrekking tot de bloembollenteelt. Tuinb. Meded. 32: p.262-267.
- Havinga, L., 1975.
Blijvend effect van diepe grondbewerking. Cultuurtechn. Tijdschr. 15(3): p.131-135. Ook Verspr. Overdr. 180, Instit. voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Wageningen.
- Kouwenhoven, J.K. en T.J.G. Vulink, 1983.
De zin van woelen. Landbouwmach. 34: p.519-523.
- Lap, P. 1969.
Invloed van het rijden met een D9 rupstrekker over een pas met een ondergrondwoeler bewerkte kavel. 7 p. + bijl. Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders, Kampen.
- Pelgrum, A., 1977.
Onderzoek naar de aanwezigheid van ploegzolen in zavel- en lichte kleigronden en de invloed daarvan op de water- en luchthuishouding van het profiel. Rp. 9. Instit. voor Bodemvruchtbaarheid, Haren.
- Perdok, H.D. en J. Terpstra, 1983.
Berijdbaarheid van landbouwgrond. Bandspanning en grondverdichting. Landbouwmach. 34.
- Scheider, C.B.H., 1982.
Effecten door berijden en bewerken van grond. De Buffer 28(4).

5. Bemestingsaspecten

5.1. Algemeen

Voor een goede groei van de gewassen is het belangrijk dat de grond en met name de bouwvoor over een zekere voorraad van bepaalde voedingselementen beschikt, zodat de plant niet geheel afhankelijk is van de verse bemesting. Dit is vooral van belang voor de elementen die weinig in oplossing gaan en daardoor via het bodemvocht nauwelijks worden verplaatst.

5.1.1. Adsorptiecomplex

Het al of niet snel uitspoelen van de kationen wordt in belangrijke mate bepaald door het adsorptiecomplex van de grond. De omvang van het adsorptiecomplex wordt bepaald door het organische-stofgehalte en het slibgehalte (gehalte aan afslibbare delen $< 16 \mu\text{m}$).

5.1.2. Verplaatsing anionen

Naarmate het organische-stofgehalte en/of het gehalte aan afslibbare delen hoger is, neemt het vochthoudend vermogen van het profiel toe. Naarmate dit vochthoudend vermogen groter is, worden anionen door een bepaalde hoeveelheid neerslagoverschot over een kleinere afstand in het profiel verplaatst. Ook de fijnheid van de zandfractie heeft invloed op de vochthoudendheid en daardoor op de verplaatsingssnelheid van anionen door een neerslagoverschot.

5.2. Organische stof

5.2.1. Bepaling van het organische-stofgehalte van de grond

Het organische-stofgehalte van de grond wordt bepaald door de gloeiverliesmethode of door een chemische oxydatie en wordt weergegeven in gewichtsprocenten.

Chemische oxydatie: voor kleigrond met minder dan 6,8% organische stof.

Gloeiverlies : voor kleigrond met meer dan 6,8% organische stof en de overige gronden.

5.2.2. Organische-stofgehalte van de bouwvoor

Het organische-stofgehalte kan door een organische bemesting worden verhoogd. Bij gebruik van dierlijke mest en groenbemesting is de verhoging per jaar zeer beperkt. Voor een aanzienlijke verhoging moeten produkten als tuinturf en turfstrooisel worden toegepast.

Het organische-stofgehalte heeft invloed op de vochthoudendheid van de bouwvoor, het adsorptiecomplex, de ruimtelijke opbouw van de bouwvoor en de stikstoflevering.

5.2.3. Humificatie van organische stof

Van de organische stof die met plantenresten, groenbemesting, organische mest, enzovoorts aan de bouwvoor wordt toegevoegd, verteert een deel in het eerste jaar en de rest in volgende jaren. De organische stof die na één jaar nog aanwezig is, draagt bij tot verhoging of instandhouding van het organische-stofgehalte van de bouwvoor. In tabel 5.2.1 geeft de humificatiecoëfficiënt aan welk deel na één jaar nog in de bouwvoor aanwezig is.

Tabel 5.2.1. De na één jaar nog in de bouwvoor aanwezige organische stof.

Soort organische stof	Humificatiecoëfficiënt
groene massa	0,20
wortels van gewassen	0,35
groenbemesters	0,25
stro	0,30
stalmest	0,50
loofboomstrooisel	0,60
naaldboomstrooisel	0,65
zaagsel	0,75
turfstrooisel	0,85

5.2.4. Verhoging organische-stofgehalte bouwvoor

Wordt boven de gebruikelijke gift 10 jaar lang een hoeveelheid organische stof aan de bouwvoor toegevoegd gelijk aan 1% van het bouwvoorgewicht, dan zijn de organische-stofgehalten van de bouwvoor na 10 jaar verhoogd met 8% bij turfstrooisel, 3,15% bij stalmest, 1,35% bij stro en 1,15% bij verbouw van groenbemesters.

Een bouwvoor met aanvankelijk 2% organische stof zal na 10 jaar extra toediening van 1% organische stof in de vorm van stalmest een gehalte hebben van 5,15.

Een jaarlijkse toediening van 1% van het bouwvoorgewicht is niet uitvoerbaar. Een jaarlijkse gift van 0,1% van het bouwvoorgewicht is meer normaal. De verhoging na 10 jaar zal dan ook $\pm 10\%$ bedragen van de genoemde cijfers.

5.2.5. Afbraak organische stof in de bouwvoor

Volgens gegevens van *Kortleven* (1963) wordt jaarlijks 2% van de actieve organische stof in de bouwvoor afgebroken. Aangezien het percentage actieve organische stof geen vast percentage is van de totale organische stof in de bouwvoor, is het moeilijk om aan te geven hoeveel organische stof jaarlijks moet worden gegeven om de afbraak te compenseren. In elk geval moet zoveel organische stof worden gegeven dat na één jaar daarvan nog 1.200-1.500 kg in de bouwvoor per ha aanwezig is.

5.2.6. Organische-stofaanvoer

In tabel 5.2.2 zijn de hoeveelheden organische stof in kg per ha vermeld die met de diverse gewassen op het land achterblijven en de hoeveelheid die na één jaar nog in de bouwvoor aanwezig is.

Tabel 5.2.2. Organische-stofaanvoer door diverse gewassen in kg · ha⁻¹

Gewas	Soort organische stof			Totaal	Na 1 jaar nog in bouwvoor
	wortel- resten	halm- resten	kaf en stro		
granen (gemiddeld)					
- bij oogsten stro	1.400	2.100	1.500	5.000	1.570
- bij onderploegen stro	1.400	2.100	4.100	7.600	2.350
snijmais	1.500	500	-	2.000	675
	Wortel- resten	Blad- resten	Oogst- resten	Totaal	Na 1 jaar nog in bouwvoor
aardappelen	500	2.700	800*	4.000	875
suikerbieten	500	700	300	1.500	375
suikerbieten incl. kop en blad	500	700	4.800	6.000	1.275
	Onder- grondse delen	Boven- grondse delen		Totaal	Na 1 jaar nog in bouwvoor
kunstweide + graszaad:					
- jaar van inzaai	1.000	500		1.500	450
- eerste jaar	2.500	1.500		4.000	1.175
- tweede jaar	6.500	1.500		8.000	2.575
- derde jaar e.v.	10.500	1.500		12.000	3.975
onder dekvrucht ingezaaid:					
- Italiaans en Westerwolds raaigras	1.700	3.300		5.000	1.255
- Engels raaigras	1.700	2.800		4.500	1.155
- rode klaver	1.500	3.200		4.700	1.165
- witte klaver	1.000	2.500		3.500	850

De genoemde normen zijn gemiddelde waarden. Voor de groenbemesting is gerekend met een goed geslaagd gewas. Een zeer goed gewas of een matig gewas is 1.000 kg organische stof meer of minder of 200 kg organische stof na één jaar nog in de bouwvoor.

5.2.7. Blijvend grasland

De hoeveelheid organische stof die bij het scheuren van blijvend grasland beschikbaar komt, is afhankelijk van het organische-stofgehalte van de zodelaag. Dit kan sterk variëren, afhankelijk van grondsoort en ontwatering.

5.2.8. C/N-quotiënt van bouwvoor en produkten

Het C/N-quotiënt geeft aan de verhouding tussen het koolstofgehalte en het totaal stikstofgehalte van de organische stof in de grond (in de bouwvoor, tabel 5.2.3) of organische produkten (tabel 5.2.4). Het C/N-quotiënt is een maat voor de stikstofrijksdom van de organische stof. Organische stof bestaat voor circa 58% uit koolstof (C). Een hoog C/N-quotiënt betekent veel C per eenheid N, dus een laag N-gehalte.

De organische stof in de bouwvoor van bemeste gronden heeft veelal een C/N-quotiënt van 10-15. Worden organische produkten aan de bouwvoor toegevoegd met een C/N-quotiënt van 60 à 70, dan zal bij de humificatie stikstof aan de bouwvoor worden onttrokken en in de nieuw gevormde humusachtige stoffen worden vastgelegd. Bij een bemesting met stro moet per 1.000 kg stro 7 kg N extra worden gegeven.

Het C/N-quotiënt van de organische stof in de bouwvoor geeft een aanwijzing omtrent de soort humus.

Bij grasland is de C/N-quotiënt in de zodelaag enkele punten hoger.

Tabel 5.2.3. C/N-quotiënt in de bouwvoor van een aantal gronden.

Bodemtype	C/N
poldervaaggronden in jonge rivierklei	9,5 ± 3,3
poldervaaggronden in jonge zeeklei	9,6 ± 1,8
leek/woudeerdgronden in oude zeeklei	11,1 ± 1,5
brikgronden	9,6 ± 2,9
zwarte enkeerdgronden	17,1 ± 3,4
veld- en laarpodzolgronden	20,8 ± 4,7
gooreerdgronden	23,1 ± 10,2
moderpodzolgronden	17,1 ± 4,7
eutroof bos- en rietveen	15 - 25
mesotroof rietzegge- en broekveen	25 - 35
oligotroof mosveen	35 - 60
koopveengronden op bosveen	12 - 16
madeveengronden op broekveen	15 - 20
dalgrond met aangeploegde bolster	25 - 30

Tabel 5.2.4.C/N-quotiënt in een aantal organische produkten.

Produkt	C/N
vaste mest rundvee	ca. 14
dunne mest rundvee	ca. 8
dunne mest varkens	ca. 5
dunne mest kippen	ca. 7
groenbemesters	10 - 15
stro	60 - 70
turfstrooisel	60
papier	170

5.3. Zuurgraad van de grond

5.3.1. Algemeen

De zuurgraad van de grond wordt aangegeven door middel van de pH, welke de negatieve logaritme van de waterstofionen concentratie is. Wordt als suspensievloeistof gedestilleerd water gebruikt, dan spreekt men van pH-H₂O. Wordt in plaats van water een 1 normaal KCl-oplossing gebruikt, dan krijgt men pH-KCl. Deze geeft lagere waarden aan dan de pH-H₂O. Het verschil is afhankelijk van grondsoort en hoogte van pH.

Wanneer de pH-KCl van de bouwvoor wordt verhoogd, neemt de beschikbaarheid voor opname door de planten van een aantal elementen toe en van andere af. Bekeken vanuit een voor de gewasgroei gunstig traject neemt bij verhoging van de pH-KCl de beschikbaarheid van P, K, Mn, Cu enzovoort af en van bijvoorbeeld Mg en Mo toe.

Om de kans op mangaangebrek op zandgrond te beperken, wordt bij het bekalkingsadvies de pH-KCl verhoogd tot maximaal 5,7.

Op kleigrond wordt de structuur van de grond gunstig beïnvloed door een grote hoeveelheid Ca-ionen aan het adsorptiecomplex.

Het bekalkingsadvies voor kleigrond is afgestemd op de gewasreactie, de bewerkbaarheid en de mate van verslumping. Bij de lichte zavel is niet geheel aan de meest gewenste pH om verslumping te voorkomen, voldaan, omdat dan de pH zeer hoog opgevoerd zou moeten worden.

Een ondergrond met een pH-KCl van < 3,5 is niet bewortelbaar. Bij een pH-KCl van < 4,0 zijn goede resultaten met bekalking van de ondergrond verkregen.

Zuurbindende waarde

De zuurbindende waarde van een meststof wordt chemisch bepaald door na te gaan hoeveel ml zoutzuur 0,357 normaal door 1 gram van de stof wordt geneutraliseerd. De uitkomst geeft aan met hoeveel kg CaO de basische of verzurende werking van 100 kg meststof overeenkomt.

Basenequivalent

De invloed van een meststof op de pH van de bouwvoor na de oogst wordt weergegeven door een getal dat basenequivalent wordt genoemd. Dit getal geeft aan de basische of verzurende werking op de grond in kg CaO per 100 kg meststof. Het kan berekend worden met behulp van gegevens omtrent de samenstelling van de meststof en navolgende formule:

$$1,0 \cdot \text{CaO} + 1,4 \cdot \text{MgO} + 0,6 \cdot \text{K}_2\text{O} + 0,9 \cdot \text{Na}_2\text{O} - 1,0 \cdot \text{N (grasland } 0,8 \cdot \text{N)} - 0,4 \cdot \text{P}_2\text{O}_5 - 0,7 \cdot \text{SO}_3 - 0,8 \cdot \text{Cl} = \dots \text{ kg CaO} \cdot 100 \text{ kg}^{-1} \text{ meststof}$$

Kalkfactor

Het aantal kilogrammen *z.b.w.* (zuurbindende waarde, 1 kg *z.b.w.* = 1 kg CaO) dat per hectare en per 10 cm bouwvoor gegeven moet worden om de pH-KCl met 0,1 te verhogen, noemt men de kalkfactor. De grootte van de kalkfactor is afhankelijk van het humusgehalte.

$$\text{Kalkfactor} = \frac{15,68 \cdot \text{humus \%} + 15,68}{0,02525 \cdot \text{humus \%} + 0,6541} \text{ kg CaO}$$

5.3.2. Zand- en veenkoloniale grond

Voor een bouwplan met 50% aardappelen, 25% bieten en 25% graan inclusief snijmaïs, gelden de in tabel 5.3.1 vermelde pH-KCl waarden als goed.

Voor een bouwplan zonder bieten gelden lagere waarden (zie Adviesbasis).

Tabel 5.3.1. Onder- en bovengrens van de pH-KCl waarden in de klasse "goed" voor zand- en veenkoloniale grond bij een bouwplan van 50% aardappelen, 25% bieten en 25% graan.

% organische stof in de bouwvoor		pH-KCl traject klasse "goed"		
		ondergrens		bovengrens
<	5,0	5,7	-	5,9
5,0 -	7,9	5,6	-	5,9
8,0 -	14,9	5,4	-	5,8
≥	15,0	5,3	-	5,7

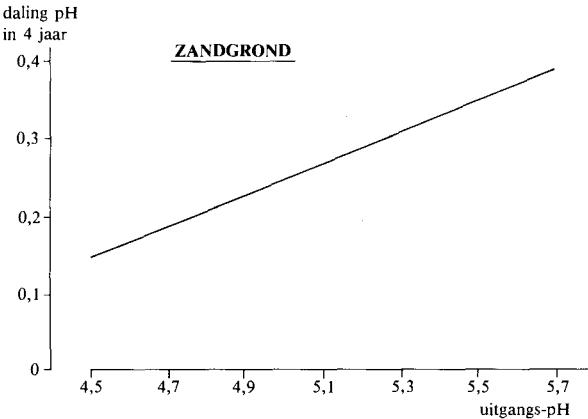
Onderhoudsbekalking bouwland (zand- en veenkoloniale gronden)

De gemiddeld per jaar benodigde hoeveelheid kalk om de verliezen door uitspoeling uit de bouwvoor aan te vullen, wordt berekend met de formule:

Onderhoudsbekalking in kg *z.b.w.* per ha per jaar =

$$\text{kalkfactor} \cdot \left(\frac{\text{daling pH in 4 jaar} \cdot 10}{4} \right) \cdot \left(\frac{\text{bouwvoor in cm}}{10} \right)$$

Figuur 5.3.1.
*Daling van de pH in 4 jaar
in afhankelijkheid van de
uitgangs-pH.*



Tabel 5.3.2. Relatieve opbrengst (%) van een aantal akkerbouwgewassen op zandgrond en op kleigrond, in afhankelijkheid van de pH-KCl.

Gewas	Zandgrond					Kleigrond				
	relatieve opbrengst (%)					relatieve opbrengst (%)				
	bij een pH-KCl van:					een pH-KCl van:				
	4,4	4,8	5,2	5,6	6,0	5,6	6,0	6,4	6,8	7,2
bieten	74,5	82	87	91	94	92	95	98	99	100
aardappelen	99	100	98,5	96	92	100	98	97	94	-
tarwe	95	99	100	98,5	96	93	96	99	100	100
gerst	89,5	96	99	100	98,5	94	96	99	100	100
haver	98	100	100	100	99,5	96	98	99	100	100
rogge	100	100	99	97	94	-	-	-	-	-
mais	96	99,5	100	96,5	88	-	-	-	-	-
stoppelknollen	94	99	100	100	97,5	-	-	-	-	-
erwten	-	-	-	-	-	99	100	100	100	98

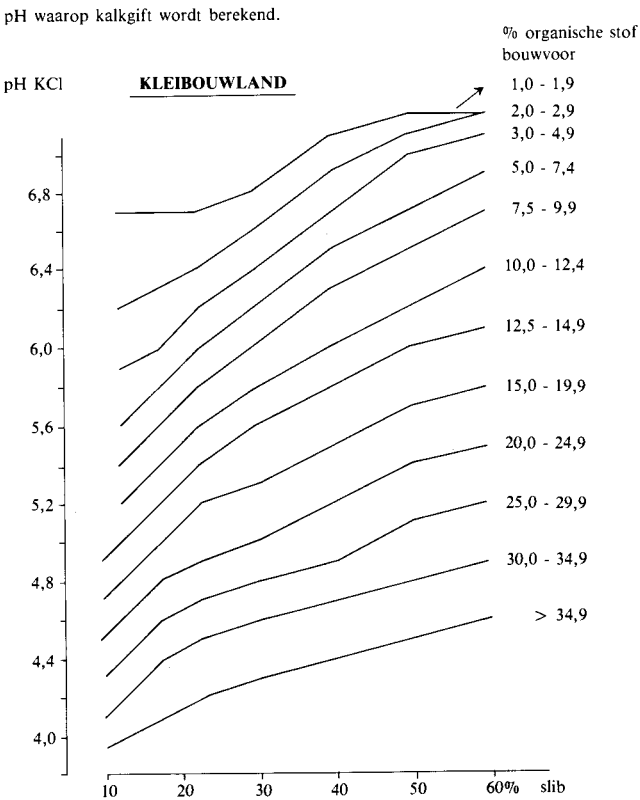
5.3.3. Klei, zavel en löss

Waardering pH-KCl op klei en zavel
pH waartoe de kalkgift wordt berekend bij rivierklei:

% Slib	Bekalken tot pH-KCl (= ondergrens klasse "goed")
11 - 14	6,0
15 - 19	6,2
> 20	6,4

Voor zeeklei zie figuur 5.3.2. De pH waartoe wordt bekalkt, is tevens de ondergrens van de klasse "goed".

Figuur 5.3.2.
*pH waarop kalkgift
wordt berekend*



Waardering pH-KCl op löss

Als goed gelden de volgende pH-KCl trajecten:

Bodemtype	% Afslibbaar	pH-KCl traject klasse "goed"		
		ondergrens		bovengrens
löss	> 20	6,6	-	7,5
overgang van zand naar löss	11 - 20	6,3	-	7,0

Benodigde kalk voor kleigronden en löss

Voor de berekening van de benodigde kilogrammen z.b.w. per 10 cm bouwvoor worden de volgende formules gebruikt:

a. Bij verhoging van de pH tot maximaal 6,4:

$$b \cdot X \cdot \text{kleihumus}$$

X = het aantal tienden dat de gevonden pH lager is dan de gewenste pH (tot 6,4 of lager);

kleihumus = $\frac{1}{4}$ van het percentage afslibbaar + het percentage humus;

b = $11,2 \cdot \text{volumegegewicht}$.

b. Bij verhoging van pH 6,4 tot gewenste pH:

$$(r.b.2 - r.b.1) \cdot (b/0,02) \cdot \text{kleihumus}$$

$r.b.1$ = relatieve basengehalte bij aanwezige pH;

$r.b.2$ = relatieve basengehalte bij gewenste pH.

Relatieve basengehalte ($r.b.$) bij diverse pH's:

pH	6,4	6,5	6,6	6,7	6,8	6,9	7,0	7,1	7,2
$r.b.$	1,0	1,025	1,06	1,10	1,15	1,21	1,28	$\pm 1,40$	$\pm 1,70$

Onderhoudsbekalking kleigronden en löss

Door uitspoeling verdwijnt een hoeveelheid kalk uit de bouwvoor. Op percelen zonder kalkreserve moet deze hoeveelheid weer worden aangevuld.

Op kleigrond wordt deze hoeveelheid geschat op 400 kg z.b.w. per ha per jaar. Op lichte gronden een iets kleinere en op zware gronden een iets grotere hoeveelheid.

Op kleigrond met meer dan 2% CaCO_3 wordt geen onderhoudsbekalking geadviseerd.

Voor löss is deze hoeveelheid te berekenen volgens de formule:

$$b \cdot \text{kleihumus} \cdot \left(\frac{\text{daling pH in 4 jaar}}{4} \cdot 10 \right) \cdot \left(\frac{\text{bouwvoordikte in cm}}{10} \right) = \dots \text{ kg z.b.w.}$$

5.3.4. Grasland op alle grondsoorten

Percelen met een te lage pH hebben vaak een slechte zode, zodat voor een goed effect bekalking moet samengaan met algehele graslandverbetering (tabel 5.3.3).

Tabel 5.3.3. Bekalkingsadvies op basis van de pH-KCl.

Waardering	pH-KCl	Te adviseren
te laag	< 4,4	bekalken tot 5,0
vrij laag	4,4 - 4,7	bekalken tot 5,0
goed	4,8 - 5,5	
vrij hoog	5,6 - 6,1	
hoog	> 6,1	

5.4. Stikstof

Bepaling N-gehalte in grond

N-totaal

Het gehalte N-totaal wordt opgegeven in $\text{g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ droge grond. Bij deze bepaling wordt alle stikstof in de grond bepaald, ook de stikstof gebonden aan de organische stof. Slechts een klein gedeelte van deze stikstof is direct opneembaar voor de plant.

N-min

Het gehalte N-min(eraal) wordt opgegeven in $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ droge grond en geeft aan het nitraat in oplossing, de ammoniak in oplossing en de ammoniak gebonden aan het adsorptiecomplex. Met behulp van de dichtheid van de grond (ρ_d) en de bemonsteringsdiepte kan de voor de plant beschikbare hoeveelheid N worden berekend.

In de adviesbasis "Bemesting van landbouwgewassen" zijn richtlijnen voor de N-bemesting van diverse gewassen vermeld.

5.5. Fosfaat

Op bouwland wordt de fosfaattoestand aangegeven met het Pw-getal (tabel 5.5.1). Dit geeft aan het aantal $\text{mg P}_2\text{O}_5$ per liter grond. Op grasland wordt de fosfaattoestand aangegeven met het P-Al-getal (tabel 5.5.2). Dit geeft $\text{mg P}_2\text{O}_5$ per 100 gram grond.

Tabel 5.5.1. Waardering van de fosfaattoestand op bouwland.

Waardering	Pw-getal
zeer laag	< 11
laag	11 - 20
voldoende	21 - 30
ruim voldoende	31 - 45
vrij hoog	46 - 60
hoog	> 60

Tabel 5.5.2. Waardering van de fosfaattoestand op grasland.

Waardering	P-Al-getal		
	veengrond, zandgrond, zeeklei en veenkoloniale grond	rivierklei	löss
laag	< 18	< 15	< 13
vrij laag	18 - 29	15 - 24	13 - 19
voldoende	30 - 39	25 - 34	20 - 29
ruim voldoende	40 - 55	35 - 55	30 - 45
hoog	> 55	> 55	> 45

5.6. Kali

Bepaling in de grond

Het K_{HCl} geeft aan het aantal mg K_2O per 100 g luchtdroge grond. Dit gehalte wordt omgerekend tot een kaligetal. De omrekening is voor bouw- en grasland en voor zand- en kleigrond verschillend.

5.6.1. Bouwland

Berekening van kaligetal op bouwland

$$\text{zand-, dal- en veengrond: } K\text{-getal} = \frac{20 \cdot K_{HCl}}{10 + \% \text{ humus}}$$

$$\text{kleigrond} : K\text{-getal} = \frac{K_{HCl} \cdot b}{0,15 \cdot pH\text{-}KCl - 0,05}$$

Als pH wordt genomen de gewenste pH of zo deze hoger is, de gevonden pH.

Bij $pH > 7,0$ wordt gerekend met 7,0.

Factor b wordt bepaald door % slib en bedraagt bij 10% slib 1,407; bij 25% slib 1,099 en bij 40% slib 0,965.

Tabel 5.6.1. Waardering van het kaligetal op bouwland.

Waardering	Kaligetal op		
	zand- en veengrond	kleigrond	löss (K_{HCl})
zeer laag	< 7	< 11	< 9
laag	7 - 9	11 - 12	9 - 10
voldoende	10 - 12	13 - 15	11 - 12
ruim voldoende	13 - 17	16 - 20	13 - 15
vrij hoog	18 - 25	21 - 26	16 - 20
hoog	> 25	27 - 34	21 - 25
zeer hoog		> 34	> 25

5.6.2. Grasland

Berekening kaligetal

Het kaligetal wordt voor alle grondsoorten berekend volgens de formule

$$\frac{10 \cdot \text{K-gehalte}}{f \cdot h}$$

h = humusgehalte

f = herleidingsfactor afhankelijk van grondsoort (tabel 5.6.2).

Tabel 5.6.2. De herleidingsfactor voor zand, klei, veen en löss.

% Humus	Herleidingsfactor voor	
	zand	klei, veen en löss
3	3,8	4,8
4	4,6	5,7
5	5,6	6,5
6	6,4	7,4
8	8,2	9,0
10	9,7	10,5
15	13,5	14,3
20	17,2	17,8
25	21,1	21,6
30	-	25,5
35	-	29,4
40	-	33,3
45	-	37,1
50	-	40,6

Tabel 5.6.3. Waardering van het kaligetal op grasland.

Waardering	Kaligetal op	
	zand	klei, veen en löss
laag	< 16	< 13
voldoende	16 - 25	13 - 20
ruim voldoende	26 - 35	21 - 28
hoog	36 - 45	29 - 36
zeer hoog	> 45	> 36

5.7. Magnesium

Bepaling

Het magnesiumgehalte wordt aangegeven in mg MgO per kg grond.

5.7.1. Bouwland

De waardering in tabel 5.7.1 geldt alleen voor bouwland op diluviale zand- en dalgrond en löss. Op kleigronden en alluviale zandgrond wordt geen richtlijn voor de magnesiumbemesting op basis van grondonderzoek gegeven. Gebreksverschijnselen kunnen daar het beste bestreden worden door bespuiting met magnesiumzouten.

Tabel 5.7.1. Waardering van het magnesiumgehalte op bouwland.

Waardering	MgO-gehalte
zeer laag	< 20
laag	20 - 29
voldoende	30 - 39
ruim voldoende	40 - 49
vrij hoog	50 - 59
hoog	60 - 79
zeer hoog	> 79

5.7.2 Grasland

De waardering van het magnesiumgehalte op grasland wordt in tabel 5.7.3 weergegeven. Deze waardering geldt voor grasland op zand-, dal en lössgrond. Voor klei en veen bestaat geen waardering van de magnesiumtoestand.

Tabel 5.7.3. Waardering van het magnesiumgehalte op grasland (op zand-, dal- en lössgrond)

Waardering	MgO-gehalte
laag	< 75
vrij laag	75 - 150
voldoende	151 - 250
hoog	> 250

5.8. Natrium

Natrium voor grasland

Het Na₂O-gehalte (tabel 5.8.1) opgegeven in mg Na₂O per kg grond wordt bepaald door de grond te extraheren met verdund zoutzuur (0,1 N).

Tabel 5.8.1. Waardering van het natriumgehalte op grasland.

Zandgrond		Kleigrond en löss	
waardering	Na ₂ O-gehalte	waardering	Na ₂ O-gehalte
laag	< 2		
vrij laag	2 - 4	vrij laag	< 5
voldoende	5 - 9	voldoende	5 - 7
ruim voldoende	10 - 13	ruim voldoende	8 - 10
hoog	> 13	hoog	> 10

5.9. Toepassing van sporenelementen-meststoffen

Tabel 5.9.1 Toepassing van sporenelementen-meststoffen.

Naam van het element	Nodig voor plant of dier	Heeft grondonderzoek in de praktijk zin	Grenswaarde grond-onderzoek mg · kg ⁻¹
borium	plant	bouwland wel	< 0,20 zeer laag
			0,20 - 0,29 laag
			0,30 - 0,35 vrij goed
			> 0,35 goed
		grasland niet	-
koper	plant en dier	bouwland wel	< 3 laag
			3,0 - 3,9 vrij laag
			4,0 - 9,9 goed
			> 10 hoog
		grasland wel	< 2 laag
			2,0 - 4,9 vrij laag
			5,0 - 9,9 goed
			> 10 hoog
kobalt	dier	bouwland niet	-
		grasland wel	< 0,1 laag
			0,1 - 0,3 vrij laag
			> 0,3 goed
mangaan	plant en waarschijnlijk dier	zandbouwland niet bij pH-KCl<5,4 geen mangaangebrek	zavel- en kleigrond* <2½% humus: < 60 laag > 60 goed
			>2½% humus: < 100 laag
			> 100 goed
		grasland niet	de pH is bepalend voor het mangaangehalte van het gras
molybdeen	plant	bouwland niet	-
		grasland niet	-

* Voor mangaan wordt geen bemestingsadvies gegeven. De toestand laag geeft aan dat er een grote kans is op het optreden van mangaangebrek (bespuiten).

5.10. Onttrekking van voedingsstoffen

Wil men een bepaalde bemestingstoestand behouden of verhogen dan moet de bemesting gemiddeld over een bouwplan gelijk zijn aan of hoger zijn dan de onttrekking. Bij zeer hoge opbrengsten is de onttrekking hoger dan in tabel 5.10.1 vermeld. De vermelde cijfers kunnen met een zelfde percentage worden verhoogd als de opbrengst hoger is dan in deze tabel is vermeld.

Tabel 5.10.1. Onttrekking van voedingsstoffen door landbouwgewassen per oogst.

Gewassen		Hoofdelementen (kg · ha ⁻¹)					Sporenelementen (g · ha ⁻¹)			
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	Mn	B	Cu	Mo
tarwe	5.500 kg zaad	103	46	27	4	9	250	11	27	3
	5.000 kg stro	23	10	43	11	6				
gerst	5.000 kg zaad	71	37	29	3	8	190	8	21	2
	3.500 kg stro	12	5	47	11	4				
haver	4.500 kg zaad	75	35	22	4	7	220	10	25	2
	4.000 kg stro	14	11	75	12	3				
snijmais	48.000 kg (vers)	190	73	230	38	29	41	8	21	1
	12.800 kg (d.s.)									
groene erwten	4.000 kg zaad	139	33	46	4	7	80	33	37	22
	2.000 kg stro	29	5	23	38	8				
consumptie-aardappelen	40.000 kg knollen	120	55	221	9	18	40	60	40	6
fabrieks-aardappelen	40.000 kg knollen	120	55	184	9	18	50	65	45	7
suikerbieten	50.000 kg bieten	104	58	115	35	35	400	300	100	11
	30.000 kg blad	131	36	180	68	45				
grasland (maaisnede)	35.000 kg d.s.	100	30	100	25	10	-	-	-	-

5.11. Kunstmeststoffen

Bij de in tabel 5.11.1 genoemde kunstmeststoffen is het algemeen gangbare gehalte aan elementen vermeld.

Tabel 5.11.1. Kunstmeststoffen met hun gehalte aan elementen.

Naam	Merknaam	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	Na	z. b. w.	
							bwl.	grl.
<i>Enkelvoudige:</i>								
kalkammonsalpeter	Magnesamon	27	-	-	-	-	-15	-10
stikstofmagnesia		22	-	-	7	-	0	+4
kalksalpeter		15,5	-	-	-	-	+12	+16
chilisalpeter		16				35	+17	+20
ureum		46					-46	-37
urean per 100 liter		39					-39	-31
urean per 100 kg		30					-30	-24
zwavelzure ammoniak		21					-61	-57
kalkstikstof		18					+40	+44
vloeibare ammoniak		82					-82	-66
ammoniak water		20,5					-21	-17
<i>Fosfaat:</i>								
superfosfaat			20					-
tripel superfosfaat			46					-
thomasmeel			13-17				+40	+40
<i>Kali:</i>								
ruw kalizout	Nakamag			10*	5	20	-	-
ruw kali natriumzout			-	15*	-	10	-	-
kaliumchloride			-	40*	-	10	-	-
kaliumchloride			-	60*	-	-	-	-
patentkali			-	30	10	-	-	-
kaliumsulfaat			-	50	-	-	-	-
kalisalpeter		13		46			-	-
<i>Kalk:</i>								
landbouwpoeder kalk							+70	+70
kalkmergel							+35	+35
koolzure magnesia kalk	Dolokal				5		+54	+54
	Dolokal extra				10		+55	+55
	Dolokal supra				19		+57	+57
	Winterswijkse							
	kleidolomiet				4		+44	+44
	Winterswijkse							
	ultradolomiet				10		+41	+41
schuimaarde (vloeibaar)							+18	+18
schuimaarde (gewoon)							+24	+28

* chloorhoudend.

5.11. Kunstmeststoffen

Bij de in tabel 5.11.1 genoemde kunstmeststoffen is het algemeen gangbare gehalte aan elementen vermeld.

Tabel 5.11.1. Kunstmeststoffen met hun gehalte aan elementen.

Naam	Merknaam	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	Na	z. b. w.	
							bwl.	grl.
<i>Enkelvoudige:</i>								
kalkammonsalpeter	Magnesamon	27	-	-	-	-	-15	-10
stikstofmagnesia		22	-	-	7	-	0	+4
kalksalpeter		15,5	-	-	-	-	+12	+16
chilisalpeter		16				35	+17	+20
ureum		46					-46	-37
urean per 100 liter		39					-39	-31
urean per 100 kg		30					-30	-24
zwavelzure ammoniak		21					-61	-57
kalkstikstof	18					+40	+44	
vloeibare ammoniak	82					-82	-66	
ammoniak water	20,5					-21	-17	
<i>Fosfaat:</i>								
superfosfaat			20					- -
tripel superfosfaat			46					- -
thomasmeel			13-17				+40	+40
<i>Kali:</i>								
ruw kalizout	Nakamag			10*	5	20	-	-
ruw kali natriumzout			-	15*	-	10	-	-
kaliumchloride			-	40*	-	10	-	-
kaliumchloride			-	60*	-	-	-	-
patentkali			-	30	10	-	-	-
kaliumsulfaat			-	50	-	-	-	-
kalisalpeter		13		46			-	-
<i>Kalk:</i>								
landbouwpoeider kalk							+70	+70
kalkmergel							+35	+35
koolzure magnesia kalk	Dolokal				5		+54	+54
	Dolokal extra				10		+55	+55
	Dolokal supra				19		+57	+57
	Winterswijkse							
	kleidolomiet				4		+44	+44
	Winterswijkse							
	ultradolomiet				10		+41	+41
schuumaarde (vloeibaar)							+18	+18
schuumaarde (gewoon)							+24	+28
							-28	-28

* chloorhoudend.

5.12. Dierlijke meststoffen

In tabel 5.12.1 is de samenstelling van de mest van een aantal diersoorten weergegeven.

Tabel 5.12.1. Samenstelling van de mest van verschillende diersoorten. De gehalten aan Cu, Cd en Zn zijn opgegeven in grammen per ton mest, de overige gehalten in kg per ton mest.

Mestsoort	Droge stof	Org. stof	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Cl	Na ₂ O	MgO	Cu	Cd	Zn
<i>Dunne mest:</i>											
rundvee ¹	95	60	4,4	1,8	5,5	3,0	1,0	1,0	3	0,03	5
mestvarkens	80	50	6,8	4,4	6,5	1,5	0,7	1,5	48 ²	0,07	38
kippen	150	90	9,6	8,8	6,9	2,0	1,0	1,5	18	0,11	64
zeugen (verdund)	10	10	2,0	0,9	2,5	0,5	0,2	0,2	-	-	-
zeugen (onverdund)	60	40	4,0	4,0	4,0	1,5	0,7	1,3	25	0,05	27
<i>Vaste mest:</i>											
rundvee	215	140	5,5	3,8	3,5	2,0	1,0	1,5	-	-	-
varkens	230	160	7,5	9,0	3,5	2,0	1,0	2,5	-	-	-
kippen (vochtig)	320	230	15,2	16,0	13,0	3,5	2,0	2,5	32	0,19	115
kippen (droge)	600	370	24,3	28,3	22,2	8,0	3,0	3,5	57	0,35	205
slachtkuikens	580	430	26,0	24,0	21,5	5,5	4,0	6,0	68	0,41	218
<i>Diversen:</i>											
gier (rundvee)	26	10	4,0	0,2	8,0	4,0	1,0	0,2	-	-	-
vleeskaalvermest	20	15	3,0	1,3	2,4	-	-	-	-	-	-
afgedragen champignonmest	391	203	7,0	7,8	9,6	2,8	2,6	2,9	-	-	-

¹ Per stalperiode van 180 dagen.

² Bij invoering van de nieuwe EEG-richtlijn wordt dit 22 gram per ton mest.

Datum van samenstelling: november 1985.

5.13. Literatuur

Proefstation voor de rundveehouderij, 1984.

Handboek voor de rundveehouderij, 4e herziene druk.

Proefstation voor de Akkerbouw en Groententeelt in de vollegrond, 1981.

P.A.G.V. Handboek, publikatie nr. 16.

Consulentschap voor bodemaangelegenheden in de landbouw, 1984.

Adviesbasis voor bemesting van landbouwgronden.

Kortleven, Jac., 1963.

Kwantitatieve aspecten van humusopbouw en humusafbraak. Versl. Landbouwk. Onderz. nr. 69.1.

Deel III

WATER

	Blz.
1. Algemeen	313
2. Neerslag en verdamping	323
3. Stroming van water in de grond	421
4. Waterbeheersing	501
5. Waterkwaliteit	621

1. Algemeen

1.1. Inleiding

1.1.1. Voorkomen van water op aarde

De totale hoeveelheid water op aarde bedraagt circa $1.384.000 \times 10^{12} \text{ m}^3$. Verreweg het grootste deel hiervan (ruim 97%) bevindt zich in de oceanen en de zeeën.

Circa 2% is opgeslagen in de ijskappen en gletschers. Alhoewel deze hoeveelheid relatief slechts gering is, zou het smelten van de ijskappen aan de polen een stijging van de zeespiegel van ongeveer 50 m tot gevolg hebben.

De verdeling van de totale hoeveelheid water op aarde is weergegeven in tabel 1.1.1.

Tabel 1.1.1. Verdeling van de totale hoeveelheid water op aarde.

	$\text{m}^2 \times 10^{12}$	%
oceanen en zeeën	1.350.000	97,6
ijskappen en gletschers	27.000	1,92
zoet en brak water	6.600	0,48

De hoeveelheid zoet en brak water is met een aandeel van circa 0,5% van het totaal, relatief gezien slechts gering. In tabel 1.1.2 is een nadere onderverdeling gegeven van de hoeveelheid zoet en brak water.

Tabel 1.1.2. Verdeling van de totale hoeveelheid zoet en brak water op aarde.

	$\text{m}^2 \times 10^{12}$	%
zoetwatermeren	125	1,90
zouthoudende meren	105	1,60
rivieren en stromen	1,7	0,03
bodemwater (onverzadigde zone)	150	2,27
grondwater	6.200	94,00
atmosferisch water	13	0,20

1.1.2. Eigenschappen van water

In vergelijking met andere vloeistoffen heeft water een groot *oplossend vermogen*. Mede op grond van deze eigenschap is water een onmisbare stof voor alle levende organismen. Planten kunnen via hun wortels het voedsel slechts in opgeloste toestand opnemen en ook bij mens en dier worden voedingsstoffen in opgeloste vorm in het bloed opgenomen. Water heeft voor levende organismen tevens een essentiële functie als *transportmiddel* voor opgeloste stoffen (sapstroom bij planten, bloedsomloop bij mens en dier).

Een andere belangrijke eigenschap van water is het *temperatuur-regulerend vermogen*. Dit is van belang omdat het leven aan vrij nauwe temperatuurgrenzen is gebonden.

De thermostaat-eigenschappen van water berusten op het bijzondere karakter van het watermolecuul. Tussen twee watermoleculen kan een waterstofbrug ontstaan die leidt tot het ontstaan van molecuul-aggregaten (clusters). Water heeft door deze bindingen een veel hoger smeltpunt en kookpunt dan andere chemische verwante stoffen. Als gevolg van deze bindingen tussen de moleculen heeft water een:

- hoge soortelijke warmte $(4.200 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1})$;
- zeer hoge verdampingswarmte $(2,45 \cdot 10^6 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ bij } 20^\circ\text{C})$;
- hoge stollingswarmte $(334 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1})$.

Door de hoge verdampingswarmte geeft verdamping van water een belangrijke afkoeling. Water vervult hierdoor een belangrijke functie bij de koeling van het bladoppervlak van planten.

Water heeft de grootste dichtheid bij 4°C . Bij lagere temperaturen is de dichtheid geringer. IJsvorming vindt daardoor alleen aan de bovenkant van een wateroppervlak plaats.

1.2. Basisbegrippen

De hierna genoemde begripsomschrijvingen zijn grotendeels ontleend aan de Verklarende Hydrologische Woordenlijst” (*Commissie voor Hydrologisch Onderzoek TNO, 1986a*).

Nr. Term	Omschrijving
1. atmosferisch water	Water dat voorkomt in de atmosfeer boven het aardoppervlak.
2. oppervlaktewater	Het water dat stroomt over of verblijft op het aardoppervlak.
3. grondwater	Water beneden het grondoppervlak, meestal beperkt tot water beneden de grondwaterspiegel.
4. bodemwater (bodemvocht)	Water dat zich in het bovenste deel van de grond (bodem) bevindt.
5. hydrologie	De leer van het voorkomen, het gedrag en de chemische en fysische eigenschappen van water in al zijn verschijningsvormen op en beneden het aardoppervlak, uitgezonderd het water in de zeeën en oceanen. ¹⁾ Opmerking: ook de invloed van menselijk handelen wordt hier dikwijls onder begrepen.
6. hydrologische kringloop (kringloop van het water)	Het doorlopen van een reeks processen en toestanden door het water (zoals neerslag, berging, afvoer, verdamping), waarbij telkens weer een andere toestand wordt bereikt.
7. waterbalans	De vergelijking van de hoeveelheden water betrokken bij toevoer, afvoer, onttrekking en verandering in berging over een bepaalde periode en binnen een gegeven gebied.
8. waterhuishouding	De wijze waarop water in een bepaald gebied wordt opgenomen, zich verplaatst, gebruikt, verbruikt en afgevoerd (enz.) wordt. In veruit de meeste gevallen wordt dit beïnvloed door menselijk handelen.
9. waterbeheer	Het geheel van onderzoeken, plannen, technische werken en bestuurlijke maatregelen, dat dient om te komen tot een zo doelmatig mogelijk integraal beheer van het aanwezige grond- en oppervlaktewater.
10. waterbeheersing	Het geheel van meten en regelen van debieten, waterstanden en stroomsnelheden ten behoeve van het waterbeheer.

¹⁾ Het vakgebied van de hydrologie kan worden onderverdeeld in onder andere de volgende deelgebieden.

- afvoerhydrologie: Hydrologie specifiek gericht op de afvoer van water uit een bepaald gebied (afwatering, rioolafvoer).
- agrohydrologie: Hydrologie specifiek gericht op de relatie tussen water en de (landbouwkundige) plantengroei op het aardoppervlak.
De agrohydrologie beperkt zich veelal tot het bodemwater en het water in de onderste laag van de atmosfeer, grenzend aan het aardoppervlak.
- geohydrologie: Hydrologie specifiek gericht op het grondwater.

1.3. De kringloop van het water

1.3.1. Algemene hydrologische kringloop

In figuur 1.3.1 is de algemene hydrologische kringloop schematisch weergegeven. Bij de diverse componenten is onder elkaar vermeld de volumestroom per jaar uitgedrukt in respectievelijk $\text{m}^3 \cdot 10^{12}$; in % van de totale jaarlijkse volumestroom en in mm waterschijf betrokken op de landoppervlakte en/of de zeeoppervlakte.

De ondergrondse afstroming S is gering ten opzichte van de afstroming door beken en rivieren R . In figuur 1.3.1 is de waarde voor S verwaarloosbaar klein verondersteld. De in figuur 1.3.1 gegeven getallen zijn gemiddelde waarden over een lange reeks van jaren. De op basis van deze waarden op te stellen waterbalansen sluiten daardoor zonder bergingsterm (= saldo).

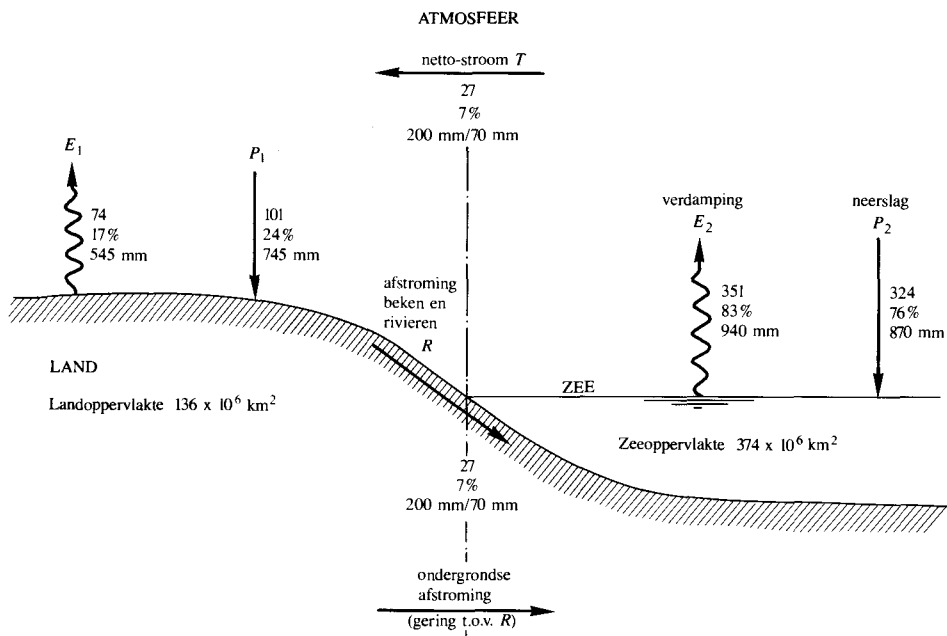
Opgemerkt wordt dat een waterbalans eerst opgesteld kan worden nadat de begrenzing van het gebied en de balansperiode is vastgesteld.

Voor het land zonder de atmosfeer erboven

luidt de balansvergelijking: $P_1 = E_1 + R + S (+ \text{saldo})$

en voor het land met de atmosfeer: $T = R + S (+ \text{saldo})$.

Voor het land en de zee tezamen geldt: $P_1 + P_2 = E_1 + E_2 (+ \text{saldo})$.

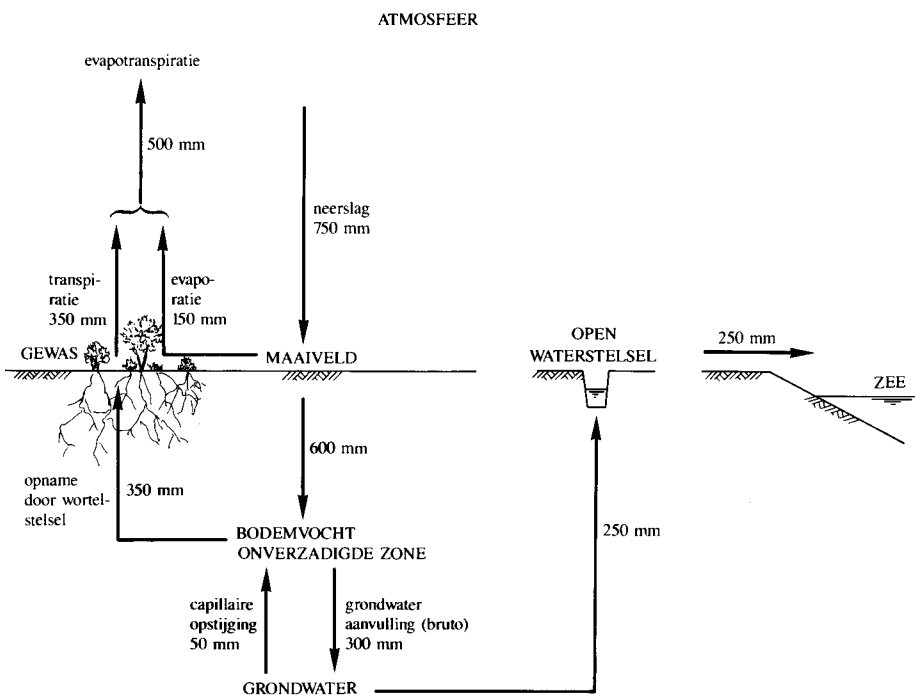


Figuur 1.3.1. De algemene kringloop van het water op aarde met de volumestromen in $\text{m}^3 \times 10^{12}$, in % en in mm waterschijf (Van Dam, 1976)

1.3.2. Agrohydrologische kringloop

Figuur 1.3.2 geeft de geschematiseerde kringloop van het water voor een begroeid landoppervlak in Nederland weer. De hierbij vermelde volumestromen zijn globale, gemiddelde waarden, uitgedrukt in mm waterschijf per jaar.

Van plaats tot plaats en van jaar tot jaar kunnen aanzienlijke verschillen optreden.



Figuur 1.3.2. De kringloop van water voor een begroeid landoppervlak in Nederland (Landbouwhogeschool, z.j.).

1.4. Watergebruik

Water wordt in de samenleving voor vele doeleinden gebruikt. De belangrijkste gebruikscategorieën worden in het navolgende kort toegelicht.

1.4.1. Land- en tuinbouw

Voor de groei van de gewassen zijn grote hoeveelheden water nodig. Onder Nederlandse

omstandigheden bedraagt de gemiddelde waterbehoefte circa 3.000-5.000 m³ per ha. Om-gerekend per kg geoogst produkt varieert het waterverbruik van circa 50 l (suikerbieten) tot 500 l per dag (granen). Voor de produktie van 1 kg gras is ongeveer 60 à 70 l water nodig ofwel circa 400 l per kg droge stof.

In ariede gebieden is het waterverbruik per kg produkt nog veel hoger.

Teneinde de watervoorziening van de gewassen te verbeteren, kunnen maatregelen worden getroffen in de vorm van wateraanvoer (beregening, bevoeiing) en/of waterconservering. Een overmaat aan water beïnvloedt de gewasproduktie in ongunstige zin. Ter voorkoming van wateroverlast worden voorzieningen getroffen ter regulering van de ontwatering en de afwatering van cultuurgronden.

Behalve voor de gewasproduktie worden in de polders in het westen van het land grote hoeveelheden water gebruikt voor doorspoeling ter bestrijding van de verzilting.

1.4.2. Drink- en industriewatervoorziening

Het watergebruik ten behoeve van de drink- en industriewatervoorziening is weergegeven in tabel 1.4.1.

Tabel 1.4.1. Wateronttrekking voor drink- en industriewatervoorziening in miljoen m³ in 1981. (*Commissie voor Hydrologisch Onderzoek TNO, 1986b*)

Gebruik	Grond-water	Oppervlakte-water	Totaal
huishoudelijk gebruik	410	200	610
industrie, diensten			
- koeldoeleinden	180	3.205	3.385
- overige doeleinden	390	300	690
	<u>570</u>	<u>3.505</u>	<u>4.075</u>
sub-totaal	980	3.705	4.685
elektriciteitscentrales	-	10.100	10.100
totaal	980	13.805	14.785

Het huishoudelijk watergebruik in Nederland is geleidelijk toegenomen van circa 60 l per hoofd van de bevolking per dag in de vijftiger jaren tot 120 l per inwoner per dag in 1981. Het gebruik van grondwater voor industrieële doeleinden is sinds 1970 onder invloed van economische factoren en wettelijke maatregelen sterk verminderd.

Oppervlaktewater wordt hoofdzakelijk voor koeldoeleinden gebruikt. Vooral elektriciteitscentrales gebruiken zeer grote hoeveelheden. Na gebruik wordt dit water weer geloosd op het oppervlaktewatersysteem.

1.4.3. Overig gebruik

De hiervoor genoemde gebruikerscategorieën zijn in zekere zin te beschouwen als directe gebruikers of "verbruikers" van water.

Daarnaast wordt voor verschillende doeleinden een meer indirect gebruik gemaakt van water. Te denken valt hierbij aan het gebruik voor:

- scheepvaart (transportweg);
- recreatie (zwemmen, zeilen, surfen, sportvisserij);
- beroepsvisserij;
- opwekken van energie;
- lozing en transport van afvalstoffen.

Ten slotte mogen de *landschappelijke* en de *natuurwetenschappelijke* functies van water niet onvermeld blijven. Talrijke landschappelijk en/of natuurwetenschappelijk waardevolle gebieden ontleen deze waarde aan de aanwezigheid van water.

1.4.4. Waterbalans in Nederland

In tabel 1.4.2 is de waterbalans van Nederland gegeven voor een gemiddeld jaar en voor een zeer droog jaar (1976).

Van de hoeveelheid water die door de rivieren in ons land wordt ingevoerd, wordt jaarlijks circa 16.000 miljoen m³ onttrokken voor verschillende gebruiksdoeleinden zoals drink- en industriewatervoorziening, beregening, bevoeiing en bestrijding van de verzilting en zoutwater-indringing in poldergebieden. Een zeer groot deel van dit water wordt echter weer op het rivierensysteem teruggebracht, zij het veelal op een andere plaats en in een andere kwaliteit.

Tabel 1.4.2. De waterbalans van Nederland in een gemiddeld jaar en in een zeer droog jaar (1976). (*Commissie voor Hydrologisch Onderzoek TNO, 1986b*)

	Gemiddeld jaar		Zeer droog jaar (1976)	
	mm	10 ⁶ m ³	mm	10 ⁶ m ³
<i>In</i>				
neerslag	775	30.100	535	20.800
Rijn	1.775	69.000	1.065	41.500
Maas	215	8.400	90	3.500
andere rivier-invoer	75	3.000	40	1.500
totaal	2.840	110.500	1.730	67.300
<i>Uit</i>				
verdamping	501	19.500	528	20.500
verschillende gebruiken	129	5.000	154	6.000
rivier-uitvoer	2.210	86.000	1.048	40.800
totaal	2.840	110.500	1.730	67.300

De waterbalans van Nederland in een gemiddelde zomer en in een zeer droge zomer (1976) is weergegeven in tabel 1.4.3. Het gebruik en de lozing van koelwater voor elektriciteitscentrales is in deze balans buiten beschouwing gelaten; in feite is dit een interne circulatie.

De rivier-uitvoer in een gemiddelde zomer bedraagt circa 37.000 miljoen m³. Dit is ruim voldoende om de indringing van zout water in de Nieuwe Waterweg bij Rotterdam tegen te gaan. In een zomerperiode is hiervoor circa 10.000 miljoen m³ nodig.

In een zeer droge zomer ligt de voor dit doel benodigde hoeveelheid echter in dezelfde orde van grootte als de rivier-uitvoer. Aangezien deze uitvoer in de tijd gezien echter niet constant is, kunnen ten aanzien van de zoutindringing tijdelijk kritieke situaties ontstaan.

Tabel 1.4.3. De waterbalans van Nederland in een gemiddelde zomer (april t/m september en in een zeer droge zomer (1976). (Commissie voor Hydrologisch Onderzoek TNO, 1986b)

	Gemiddelde zomer		1976	
	mm	10 ⁶ m ³	mm	10 ⁶ m ³
Aanvoer				
neerslag	382	14.900	208	8.100
rivier-invoer (Rijn en Maas)	893	34.700	460	17.900
berging oppervlaktewater (IJsselmeer)	13	500	13	500
berging bodem- en grondwater	123	4.800	98	3.800
hergebruikt water	31	1.200	31	1.200
totaal	1.442	56.100	810	31.500
Vraag				
verdamping	423	16.500	436	17.000
huishoudelijk en industrieel watergebruik	60	2.300	60	2.300
doorspoeling	15	600	30	1.200
rivier-uitvoer	944	36.700	284	11.000
totaal	1.442	56.100	810	31.500

1.5. Het beheer van het water

De diverse gebruikers en de functies van water stellen elk hun speciale eisen ten aanzien van de kwantiteit en de kwaliteit van dat water. In veel gevallen zijn deze eisen echter tegengesteld. Teneinde het grond- en oppervlaktewater op een adequate manier te kunnen beheren zowel uit een oogpunt van kwaliteit als van kwantiteit, zijn regels en wetten opgesteld. Als belangrijkste onderdelen van dit wettelijk instrumentarium kunnen worden genoemd:

- *Wet verontreiniging Oppervlaktewater (1970)*

Deze wet stelt regels en voorschriften ten aanzien van de lozing van afvalstoffen op het oppervlaktewater. Daarnaast is in deze wet geregeld, dat beleidsplannen ten aanzien van de waterkwaliteit opgesteld worden door zowel het Rijk (rijkswateren) als door de provincies (overige wateren).

- *Grondwaterwet (1982)*

De grondwaterwet handelt over het beheer van het grondwater voor zover het de onttrekking van grondwater en infiltratie van water in de bodem betreft. Ook deze wet kent planvorming: de provinciale grondwaterplannen.

- *Wet Bodembescherming (1986)*

Dit is een kaderwet welke onder andere beoogt het grondwater in kwalitatieve zin te beschermen tegen verontreinigingen. De opstelling van provinciale grondwaterbeschermingsplannen is een essentieel onderdeel van deze wet.

- *Wet op de Waterhuishouding (in voorbereiding)*

De Wet op de Waterhuishouding is onder andere gericht op een integrale planvorming voor grond- en oppervlaktewater. Deze wet voorziet tevens in instrumenten voor het kwantiteitsbeheer van oppervlaktewateren. Het streven is om de Wet op de Waterhuishouding in 1988 in werking te laten treden.

- *Overige waterstaatswetten*

In deze categorie kunnen de volgende wetten worden genoemd welke hier niet verder worden toegelicht.

. Waterstaatswet 1900

. Keurenwet

. Wet betreffende 's-Rijkswaterstaatswerken

. Rivierenwet

. Zuiderzeewet

. Deltawet

. Ontgrondingenwet

. Wet Verontreiniging Zeewater

Voor een korte beschrijving van de doelstellingen van deze wetten wordt verwezen naar Bijlage I van de nota "Waterhuishouding van Nederland", 1984 (*Ministerie van Verkeer en Waterstaat*, 1985).

Het vigerende beleid inzake het waterbeheer is vastgelegd in verschillende nota's:

- *De Waterkwaliteit van Nederland. Indicatief Meerjarenprogramma (IMP) Water 1985-1989*

Het IMP Water beschrijft de beleidsuitgangspunten met betrekking tot de kwaliteit van oppervlaktewater en de waterkwaliteitsdoelstellingen. Tevens bevat het IMP een uitwerking van doelstellingen voor de korte en de middellange termijn.

- *De Waterhuishouding van Nederland (1984)*

Deze nota vervangt de in 1968 verschenen nota en wordt daarom wel aangeduid als de Tweede Nota Waterhuishouding. Deze nota schetst het beleidsterrein van de waterhuishouding en zijn samenhangen met andere beleidsterreinen. De nota geeft tevens een beeld van de ontwikkelingen op het gebied van de waterhuishouding en van de huidige problematiek. Ook worden beleidslijnen geformuleerd voor de korte en de middellange termijn en worden de consequenties van het voorgestane beleid en beheer geschetst.

De voorbereidingen voor het opstellen van een Derde Nota Waterhuishouding zijn inmiddels ter hand genomen. Deze nota zal in 1990 verschijnen en zal een integraal karakter dragen, waarin de watersysteembenadering centraal staat.

- *Omgaan met Water (1987)*

Gestreefd wordt om in de toekomst te komen tot één ingetrane waterwet waarin een instrumentarium gegeven wordt voor het kwaliteits- en kwantiteitsbeheer van grond- en oppervlaktewater. In de nota "Omgaan met Water" wordt de gedachte van het integrale waterbeheer uiteengezet.

1.6. Literatuur

Commissie voor Hydrologisch Onderzoek TNO, 1986a.

Verklarende hydrologische woordenlijst. Rapporten en nota's nr 16. TNO, 's-Gravenhage.

Commissie voor Hydrologisch Onderzoek TNO, 1986b.

Water in the Netherlands. Proceedings and Information no. 37. TNO, 's-Gravenhage.

Dam, J.C. van, 1976.

Waterhuishouding. I. Hydrologische grondslagen, Deel I.A. Dictaat.

Technische Hogeschool Delft, afdeling der Civiele Techniek, Delft.

Landbouwhogeschool, z.j.

Agrohydrologie. Dictaat. LH Cultuurtechniek, Wageningen.

Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1985.

De Waterhuishouding van Nederland (1984). Staatsuitgeverij, 's-Gravenhage.

Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1986.

De waterkwaliteit van Nederland. Indicatief meerjarenprogramma water 1985-1989 (1985). Staatsdrukkerij, 's-Gravenhage.

Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1987.

Omgaan met Water. Naar een integraal waterbeheer. 's-Gravenhage.

2. Neerslag en verdamping

2.1. Waarnemingsstations K.N.M.I.

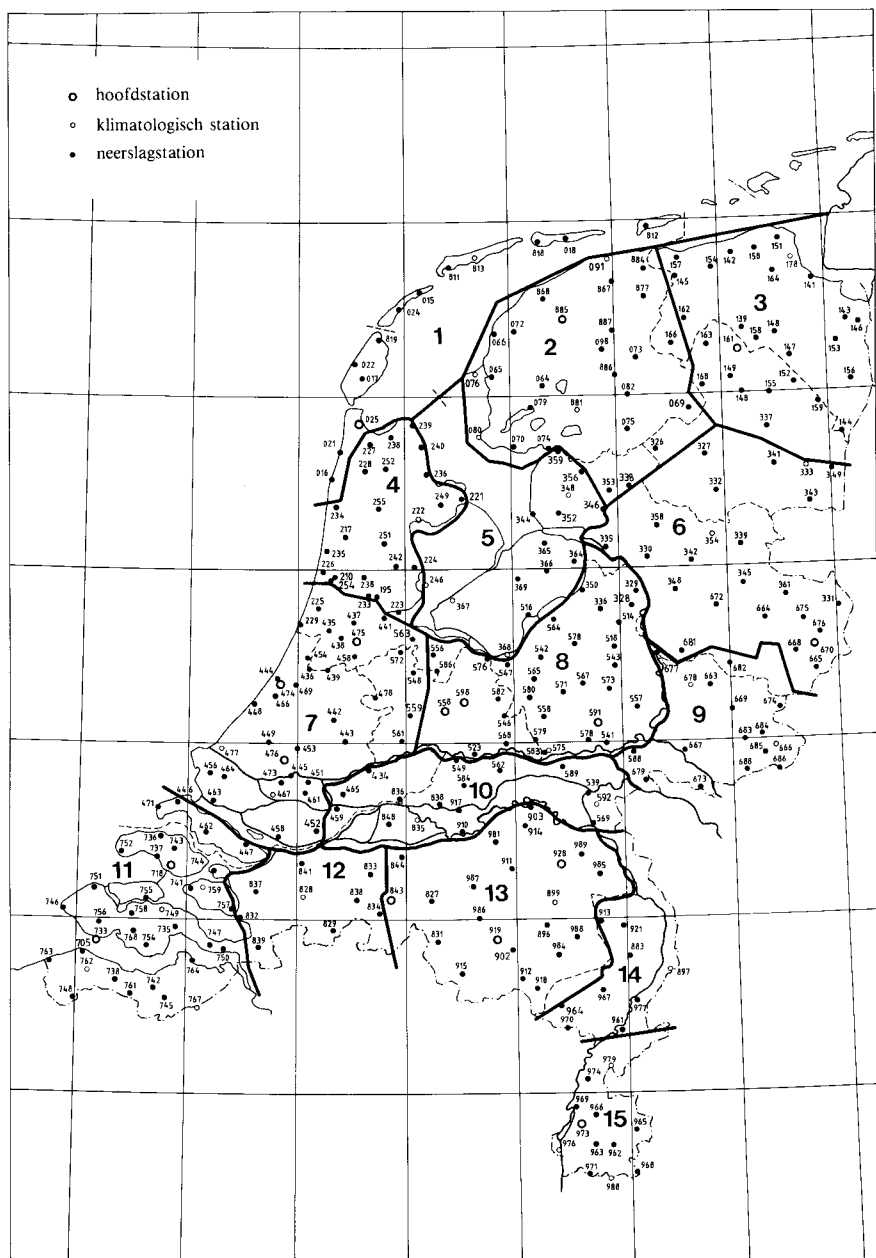
Metingen van neerslag- en verdampingshoeveelheden worden in Nederland overwegend verricht door het Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut (K.N.M.I.). Het K.N.M.I. kent *hoofdstations* en *klimatologische stations* waarop verscheidene groot-heden (elementen) worden gemeten. Daarnaast zijn er stations waarop slechts één ele-ment wordt gemeten. Hiertoe behoren onder andere de circa 270 *neerslagstations* waarop uitsluitend eenmaal per dag de neerslaghoeveeldheid wordt afgetapt. Op de klimatologische stations - vóór 1981 termijnstations genoemd - wordt naast de neerslag de temperatuur en vrijwel altijd ook de luchtvochtigheid gemeten. Soms hebben deze stations ook metingen van de zonneschijnduur en van de wind. Het aantal klimatolo-gische stations bedraagt thans circa 35 (exclusief de hoofdstations). Hoofdstations zijn klimatologische stations waaraan uurlijkse gegevens van vele groothe-den ontleend worden. De tradionele hoofdstations waren Utrecht/De Bilt, Den Helder, Vlissingen, Groningen/Eelde en Maastricht/Beek. Per 1 januari 1971 is het aantal hoofd-stations aanzienlijk uitgebreid. De ligging van de hoofdstations, klimatologische stations en neerslagstations is weergegeven in figuur 2.1.1. Voor de verklaring van de stationnum-mers zie tabel 2.1.1.

Tabel 2.1.1. Waarnemingsstations K.N.M.I. per district met de normaalwaarden van de jaarsom van de neerslag (N) per station. (Ontleend aan Regenwaarnemingen 1984, K.N.M.I., De Bilt).

Nr.	Stationsnaam	N	Nr.	Stationsnaam	N	Nr.	Stationsnaam	N
DISTRICT 1			DISTRICT 2					
010	Hollum (Ameland)	761	064	Sneek	806	082	Gorredijk	803
011	West Terschelling	765	065	Makkum	756	084	Ezumazijl	811
012	Schiermonnikoog	809	066	Harlingen	767	085	Leeuwarden	773
013	Hoorn (Terschelling)	741	067	Dokkum	856	086	NijBeets	782
015	Oost Vlieland	741	068	St. Anna Parochie	789	087	Bergumerdam	793
016	Petten	712	069	Appelscha	840	091	Ternaard	788
017	Den Burg (Texel)	774	070	Oudemirdum	739	166	Marum (Gr.)	819
018	Nes (Ameland)	794	072	Franeker	771	326	Frederiksoord	810
019	De Cocksdorp (Texel)	777	073	Drachten	822	338	Giethoorn	777
021	Callantsoog	739	074	Lemmer (Tacoziyl)	738	353	Blokzijl	788
022	De Koog (Texel)	764	075	Oldeholtpade	819	DISTRICT 3		
024	Vlieland (Vliehors)	722	076	Kornwerderzand	719	139	Groningen	804
025	De Kooy (N.H.)	734	077	Kollum (Fr.)	829	140	Assen	801
			079	Heeg	776	141	Delfzijl	747
			080	Stavoren	704	142	Warffum	800
			081	Joure	808			

Nr.	Stationsnaam	N	Nr.	Stationsnaam	N	Nr.	Stationsnaam	N
143	Finsterwolde	763	DISTRICT 5			440	Scheveningen	812
144	Ter Apel	740	246	Marken	770	441	Amsterdam (Hortus)	860
145	Zoutkamp	763	346	Kraggenbrug		442	Boskoop	815
146	Nieuw Beerta	733		(N.O.P.)	776	443	Gouda	821
147	Veendam	756	348	Emmeloord	797	444	Katwijk a.d. Rijn	766
148	Sappemeer	749	352	Nagele (N.O.P.)	755	445	Rotterdam (Westerk.)	792
149	Zeijen	802	356	Kuinre	780	449	Delft	882
150	Uithuizen	819	359	Lemmer (Buma)	791	450	Numansdorp	769
151	Roodeschool	740	364	Dronten	776	451	IJsselmonde	804
152	Gieterveen	765	365	Swifterbant		453	Bergschenhoek	827
153	Winschoten	754	366	Biddinghuizen		454	Lisse	787
154	Eenrum	777	367	Oostvaardersdiep		455	Mookhoek	795
155	Eext	816	368	Nijkerk (Sluis)		456	Oostvoorne	779
156	Vlagentwedde	732	369	Lelystad (Vliegveld)		458	Aalsmeer	804
157	Ulrum (Westpolder)	765	516	Harderwijk	763	461	Barendrecht	809
158	Onnen	746				463	Nieuw Helvoet	751
159	Nieuw Buinen	739	DISTRICT 6			464	Brielle	792
160	Veenhuizen	833	327	Dwingelo	821	466	Wassenaar	821
161	Eelde	780	330	Zwolle	788	467	Poortugaal	817
162	Niekerk	790	331	Denekamp	766	469	Leiden	806
163	Roden	806	332	Hoogeveen	811	470	Zegveld	796
164	Zeerijp	782	333	Emmen	756	473	Rotterdam (Waalhaven)	
170	Bierum	798	335	IJsselmuiden	759	474	Valkenburg Z.H.	
337	Schoonlo	795	339	Rheezerveen	773	475	Schiphol	
			340	Heino	756	476	Rotterdam (Luchthaven)	
DISTRICT 4			341	Zweelo	779	477	Hoek van Holland	770
195	Zaandam		342	Vilsteren	748	548	Loenen a.d. Vecht	827
210	Beverwijk		343	Schoonebeek	704	559	Vleuten	791
217	Heiloo		345	Vroomshoop	764	561	Benschop	789
221	Enkhuizen	777	349	Klazienaveen	742	563	Weesp	803
222	Hoorn (N.H.)	780	354	Dedemsvaart	763	572	Abcoude	796
223	Schellingwoude	827	358	Rouveen	767			
224	Edam	755	361	Tubbergen		DISTRICT 8		
226	Wijk aan Zee	749	664	Almelo	787	328	Heerde	803
227	Anna Paulowna	728	665	Enschede	771	329	Wapenveld	814
228	Schagen	771	668	Hengelo (Ov.)	761	336	Oldebroek	822
230	Zaandijk	774	670	Vliegbasis Twente	765	350	Elburg	739
233	Zaandam (Hembrug)	820	672	Hellendoorn	787	510	Vaassen	
234	Bergen (N.H.)	783	675	Weerselo	758	514	Epe (Gld.)	
235	Castricum	802	676	Oldenzaal	794	523	Wijk bij Duurstede	
236	Medemblik	746	681	Lettele	759	541	Arnhem	833
238	De Haukes (N.H.)	746				542	Putten (Gld.)	842
239	Den Oever	779	DISTRICT 7			543	Apeldoorn	872
240	Kreileroord (N.H.)	714	225	Overveen	805	546	Woudenberg	806
242	Purmerend	807	229	Zandvoort	768	547	Nijkerk	771
249	Hoogkarspel	744	435	Heemstede	798	550	De Bilt	796
251	Westbeemster	786	436	Sassenheim (Leeghw.)	780	556	Bussum	848
252	Kolhorn	769	437	Lijnden	802	557	Eerbeek	827
254	Velsen-Oost		438	Hoofddorp	800	558	Lunteren	815
255	Obdam		439	Oude Wetering	816	560	Amerongen	806

Nr.	Stationsnaam	N	Nr.	Stationsnaam	N	Nr.	Stationsnaam	N
564	Hulshorst	804	910	Ammerzoden	746	DISTRICT 13		
565	Voorthuizen	793	917	Zaltbommel	762	827	Tilburg	735
567	Kootwijk	853	DISTRICT 11			831	Esbeek	786
570	Elspeet	869	446	Goedereede	734	843	Vliegbr. Gilze Rijen	750
571	Harskamp	800	447	Den Bommel	761	844	Capelle (N.B.)	748
573	Beekbergen	891	462	Dirksland	746	896	Helmond	740
575	Wageningen (Haarweg)		471	Ouddorp	732	899	Gemert	723
576	Spakenburg	766	705	Breskens		901	Nuland	779
578	Oosterbeek	864	710	Zierikzee	759	902	Eindhoven	735
579	Veenendaal	771	733	Vlissingen	739	903	Megen	753
580	Barneveld	793	735	Kappelle (Zeeland)	781	904	Someren	738
582	Hamersveld	827	736	Brouwershaven	737	905	St. Anthonis	734
583	Wageningen (De Eng)	782	737	Kerkwerf	719	906	Oirschot	740
586	Hilversum	805	738	Biervliet	753	907	Boxtel	743
590	Soesterberg		740	St. Kruis	762	908	Deurne	732
591	Deelen		741	Stavenisse	758	909	Mill	733
DISTRICT 9			742	Terneuzen	750	911	Dinther	740
588	Duiven	754	743	Noordgouwe	728	912	Leende	753
663	Lochem	764	744	Anna Jacoba	749	914	Oss	734
666	Winterswijk	775	745	Axel	752	915	Eersel (Witrijt)	802
667	Doetinchem	758	746	Westkapelle	706	918	Maarheeze	726
669	Borculo	746	747	Krabbendijk	763	919	Eindhoven	
673	Gendringen	715	749	Wilhelminadorp	758		(Vliegbasis)	
674	Rekken	764	750	Rilland	748	920	Volkel	
677	Deventer	759	751	Vrouwenpolder	759	DISTRICT 14		
678	Almen	739	752	Haamstede	730	883	Sevenum	734
679	Herwen	742	754	Ovezande	773	897	Venlo	745
680	Aalten	758	755	Kortgene	721	913	Ysselsteyn (L.)	697
682	Markelo	775	756	Middelburg	742	921	Venray	
683	Lichtenvoorde	761	757	Tholen	759	961	Roermond	708
684	Lievelde		758	Wolphaartsdijk	752	964	Weert	711
685	Corle		759	St. Annaland	747	967	Heibloem	730
686	Woold		760	's-Heerenhoek	734	970	Stramproy	707
DISTRICT 10			761	Philippine	742	977	Beesel	723
434	Groot Ammers	794	762	Schoondijke	746	DISTRICT 15		
459	Dordrecht	785	763	Cadzand	721	962	Ubachsberg	826
465	Oud Alblas	805	764	Kloosterzande	781	963	Valkenburg	816
539	Nijmegen	764	767	Kapellebrug	784	965	Schaesberg	785
549	Culemborg	763	DISTRICT 12			966	Schinnen	798
562	Tiel	762	828	Oudenbosch	768	968	Vaals	915
569	Heumen		829	Zundert	786	969	Stein	766
584	Geldermalsen	744	832	Bergen op Zoom	754	971	Noorbeek	844
589	Zetten	777	833	Oosterhout	768	973	Beek (L.)	769
592	Nijmegen (Radboud)		834	Chaaam	768	974	Buchten	733
830	Herwijnen	747	837	Steenbergen	789	976	Maastricht	751
835	Andel	766	838	Ginneken	801	979	Echt	
836	Gorinchem	772	839	Hoogerheide	793	980	Epen (L.)	882
840	Nieuwendijk (N.B.)	778	841	Klundert	745			



Figuur 2.1.1. Overzicht waarnemingsstations K.N.M.I. en indeling in districten (voor de namen van de stations zie tabel 2.1.1).

2.2. Neerslag

2.2.1. Begrippen

De onderstaande begrippen zijn ontleend aan de "Verklarende hydrologische woordenlijst" (*Commissie voor Hydrologisch Onderzoek TNO*, 1986).

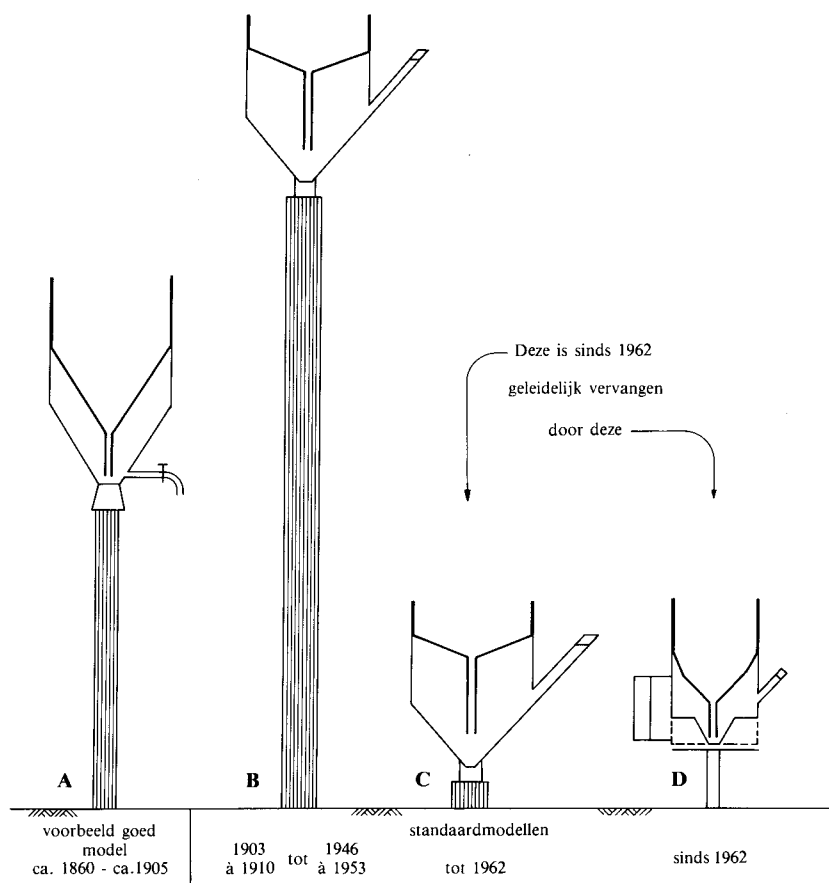
Nr.	Term	Omschrijving	Gangbare eenheid	Dimensie	Symbool
1	neerslag	De massa waterdeeltjes, zowel vloeibaar als vast, die vanuit de atmosfeer het aardoppervlak* bereikt. Aangezien de dichtheid van water nagenoeg 1 is, is de massa equivalent met het volume: 1 kg is equivalent met 10^{-3} m ³ .	m ³	M	-
2	specifieke neerslag	De neerslag (1) die per eenheid van horizontaal oppervlakte valt.	mm	L ⁻² M	-
3	specifieke neerslag-intensiteit				
	a. momentaan	De afgeleide van de specifieke neerslag (2) naar de tijd.	mm · min ⁻¹	L ⁻² MT ⁻¹	-
	b. gemiddeld	De specifieke neerslag (2) gedeeld door het tijdsinterval waarbinnen de neerslag valt.	mm · min ⁻¹	L ⁻² MT ⁻¹	-
4	bruto neerslag	De gemiddelde specifieke neerslag-intensiteit (3b) boven het aardoppervlak*	mm · d ⁻¹	L ⁻² MT ⁻¹	P
5	interceptie	Deel van bruto neerslag (4) dat door vegetatie of andere structuren wordt onderschept en dat vervolgens verdampt.	mm · d ⁻¹	L ⁻² MT ⁻¹	E_i
6	netto neerslag	Het verschil tussen de bruto neerslag (4) en de interceptie (5): $P_n = P - E_i$	mm · d ⁻¹	L ⁻² MT ⁻¹	P_n

* aardoppervlak: begroeid, onbegroeid (incl. water), bebouwd, ongebouwd oppervlak.

2.2.2. Meting van de neerslag

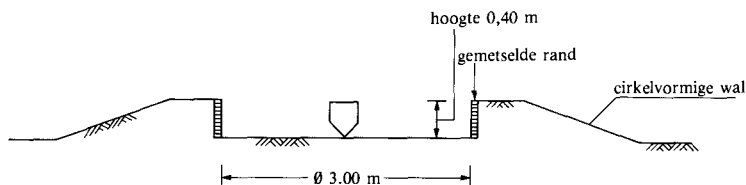
Voor de meting van de neerslag zijn in de loop der jaren verschillende typen regenmeters gebruikt. In 1903 werd een standaardregenmeter ingevoerd met een opvangopening van 400 cm². De opstellingshoogte bedroeg aanvankelijk 1,50 m. In de periode 1946-1955 is deze voor alle stations gewijzigd in 0,40 m. Sinds 1962 wordt dit type regenmeter geleidelijk vervangen door een nieuw model met een opvangopening van 200 cm². Thans is op vrijwel alle stations dit model aanwezig. De verschillende typen regenmeters zijn in figuur 2.2.1 schematisch weergegeven.

opening:	400 cm ²	400 cm ²	400 cm ²	200 cm ²
hoogte:	1,0 m	1,5 m	0,4 m	0,4 m



Figuur 2.2.1. Schematische voorstelling van regenmeters welke in Nederland zijn gebruikt.

Met uitzondering van het station Lelystad Houtrib vindt op de hoofdstations continue registratie van de neerslag plaats door middel van een elektrische pluviograaf. De neerslag wordt geregistreerd op een op afstand-gelegen recorder. Van de registraties worden de uurwaarden van de neerslaghoeveelheid en neerslagduur routinematig in een computerbestand opgeslagen. De op het K.N.M.I. ontworpen elektrische pluviograaf heeft een opvangopening van 400 cm² en is opgesteld op een hoogte van 0,40 m, meestal in een zogenaamde Engelse opstelling (zie fig. 2.2.2). Op de militaire vliegvelden Leeuwarden, Twente, Soesterberg, Gilze-Rijen, Volkel en Eindhoven is echter een elektrische pluviograaf van een ander type in gebruik met een opstellingshoogte van 0,90 m. Beide typen pluviografen werken met een vlottersysteem.



Figuur 2.2.2. Regenmeter in Engelse opstelling.

Fouten bij neerslagmetingen

Onderscheiden kunnen worden:

- fouten door de *opstelling* van de regenmeter.

Bij hoge windsnelheden veroorzaakt de regenmeter turbulentie van de lucht waardoor een deel van de neerslag niet wordt opgevangen. Deze zogenaamde windfout is groter naarmate de regenmeter hoger is opgesteld. De verschillen in neerslaghoeveelheden gemeten bij een opstelhoogte van 0,40 m en 1,50 m variëren van circa 2 % tot circa 10 %, afhankelijk van de geografische ligging, het jaargetijde en de lokale situatie (mate van beschutting). Tussen een opstelhoogte van 0,40 m en een grondregenmeter treden verschillen op welke in dezelfde orde van grootte liggen.

Bij kuststations is de afwijking vanwege de hogere windsnelheid het grootst. In de winter zijn de procentuele verschillen ongeveer twee keer zo groot als in de zomer.

- fouten door de *constructie* van de regenmeters.

Bij een goede constructie van de regenmeters zijn deze fouten meestal gering. Pluviografen hebben vanwege de ongunstige vorm meestal een grotere windfout dan de standaardregenmeters; om deze reden worden ze in een Engelse opstelling gezet. Bij het K.N.M.I. worden de met een pluviograaf geregistreerde neerslaghoeveelheden gecorrigeerd op eventuele afwijkingen.

- *waarnemingsfouten*.

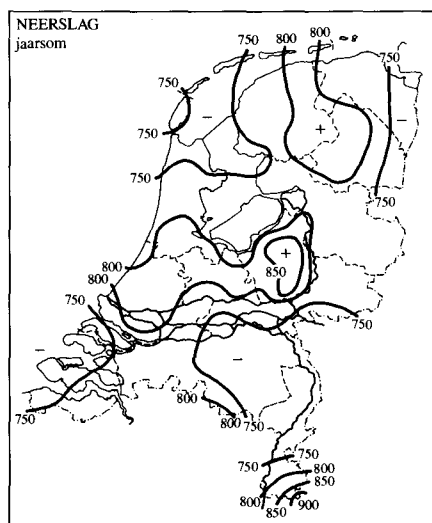
De fouten ontstaan door het niet op het juiste moment aftappen van de regenmeter, vergissingen bij het noteren enz. Waarnemingsfouten worden achteraf door het K.N.M.I. zo goed mogelijk gecorrigeerd.

2.2.3. Verdeling van de neerslag naar plaats en in de tijd

De verdeling van de gemiddelde jaarsom van de neerslag in Nederland is weergegeven in figuur 2.2.3.

De hoogste gemiddelde neerslagsommen komen voor op de Veluwe en in Zuid-Limburg. De droogste delen zijn de Zeeuwse en Zuidhollandse eilanden, oostelijk Noord-Brabant en Noord- en Midden-Limburg, Noordoost-Groningen en enkele gebieden langs de Noordzeekust en de IJsselmeerkust.

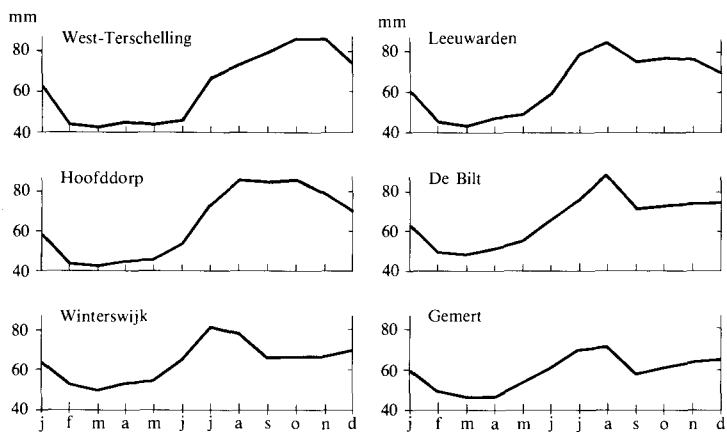
*Figuur 2.2.3.
Gemiddelde jaarsom (normaal) van de neerslag
in Nederland voor het tijdvak 1951-1980*



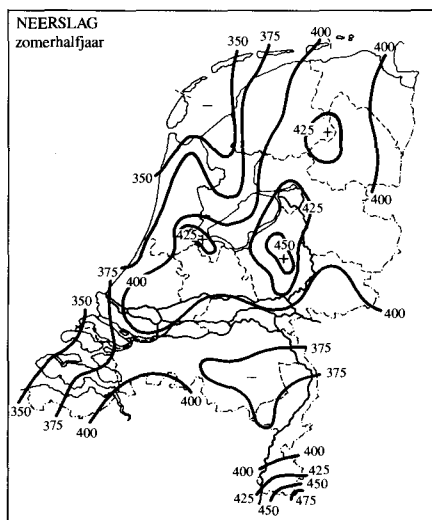
De verdeling van de gemiddelde neerslaghoeveelheden binnen een jaar (de jaarlijkse gang) is in Nederland niet overal gelijk. In de kustgebieden valt de grootste neerslaghoeveelheid doorgaans in het najaar (september-november). Meer landinwaarts zijn juli en augustus meestal de natste maanden. De droogste maanden zijn februari, maart en april. In deze maanden zijn ook de plaatselijke verschillen gering. De maanden mei en juni zijn in de kustgebieden relatief droog.

In figuur 2.2.4 is voor een zestal stations het gemiddelde van de maandsommen voor het tijdvak 1911-1975 weergegeven.

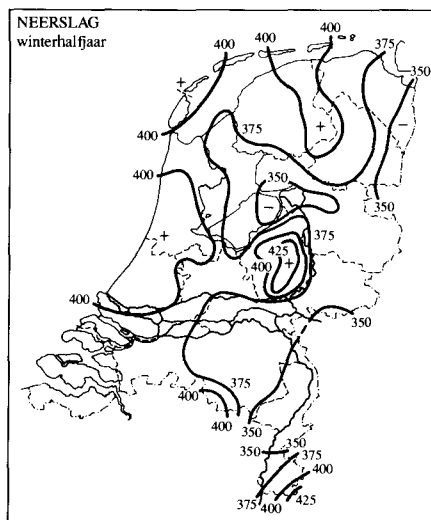
De gemiddelde neerslaghoeveelheid voor het zomerhalfjaar en het winterhalfjaar is in figuur 2.2.5 respectievelijk figuur 2.2.6 weergegeven.



Figuur 2.2.4. Gemiddelde maandsommen van de neerslag voor het tijdvak 1911-1975 voor een zestal waarnemingsstations.



Figuur 2.2.5. Gemiddelde neerslaghoeveelheid (normaal) voor het zomerhalfjaar (april-september) berekend voor het tijdvak 1951-1980.



Figuur 2.2.6. Gemiddelde neerslaghoeveelheid (normaal) voor het winterhalfjaar (oktober-maart) berekend voor het tijdvak 1951-1980.

2.3. Verdamping

2.3.1. Begrippen

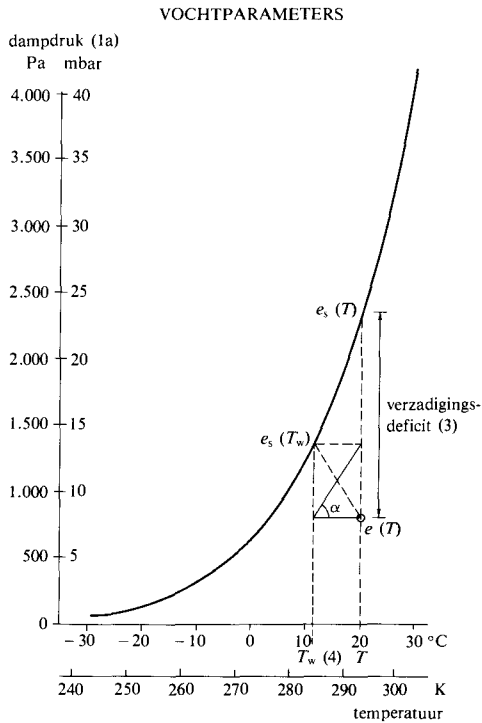
De onderstaande begrippen zijn ontleend aan de "Verklarende hydrologische woordenlijst" (*Commissie voor Hydrologisch Onderzoek TNO*, 1986).

Nr.	Term	Omschrijving	Gangbare eenheid	Dimensie	Symbool
1a	dampdruk	De partiële druk van de waterdampmoleculen bij een zekere temperatuur.	mbar ¹⁾ of hPa	$L^{-1} MT^{-2}$	e
1b	verzadigingsdampdruk	De dampdruk waarbij de waterdamp in evenwicht is met een vlak oppervlak van zuiver water (ijs) van dezelfde temperatuur en druk.	mbar of hPa	$L^{-1} MT^{-2}$	e_s
2	relatieve vochtigheid	De verhouding van de heersende dampdruk e (1a) tot de verzadigingsdruk e_s (1b) bij dezelfde temperatuur: e/e_s .	- of %	dim.loos	-
3	verzadigingsdeficit	Het verschil tussen de verzadigingsdruk e_s (1b) en de actuele dampdruk (1a) bij de heersende temperatuur: $\Delta e = e_s - e$.	mbar of hPa	$L^{-1} MT^{-2}$	Δe
4	natte-boltemperatuur	De temperatuur T_w , welke door vochtige lucht strijkend langs een nat oppervlak wordt verkregen als de verdampingswarmte uitsluitend door de lucht wordt geleverd.	K of °C	Θ	T_w
5	psychrometer-constante	Het verschil in verzadigingsdampdruk (1b) bij de natte-boltemperatuur (4) en de heersende dampdruk gedeeld door het verschil in drogebol- en natte-boltemperatuur: $\gamma = \{e_s(T_w) - e(T)\} / (T - T_w) = c_p \cdot p / 0,622 \lambda$ ($\gamma = 0,67 \text{ mbar} \cdot K^{-1}$, waarbij c_p = soortelijke warmte van lucht $= 1005 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot K^{-1}$, p = luchtdruk = 1013 mbar λ = verdampingswarmte voor water bij 20°C = $2,45 \cdot 10^6 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$)	mbar · K ⁻¹ of hPa · K ⁻¹	$L^{-1} MT^{-2} \Theta^{-1}$	γ
6	helling van de verzadigingsdampdrukcurve	De afgeleide van de verzadigingsdampdruk e_s (1b) naar de temperatuur: $s = de_s/dT$.	mbar · K ⁻¹ of hPa · K ⁻¹	$L^{-1} MT^{-2} \Theta^{-1}$	s

¹⁾ voor verklaring zie blz. 336

Figuur 2.3.1.
Vochtparameters

γ : psychrometerconstante (5) = $\text{tg } \alpha$
 e_s : verzadigingsdampdruk (1b)
 T_w : natte-boltemperatuur (4)



Nr.	Term	Omschrijving	Gangbare eenheid	Dimensie	Symbol
7	advectie	Het proces waarbij een atmosferische grootte wordt getransporteerd door de <i>horizontale</i> beweging in de atmosfeer. Ook de verandering per tijdseenheid in de waarde van een zekere grootte X op een zeker punt: $u \cdot \delta X / \delta x + v \cdot \delta X / \delta y$, waarbij u en v de windcomponenten zijn in x - en y -richting.	-	-	-
8	specifieke verdampingswarmte van water	De hoeveelheid energie die nodig is om een massa-eenheid water zonder temperatuurverhoging (isotherm) van de vloeibare fase in de dampfase te doen overgaan $\lambda = 2,4518 \cdot 10^6 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$ (20° C).	$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$	$\text{L}^2 \text{T}^{-2}$	λ

Nr.	Term	Omschrijving	Gangbare eenheid	Dimensie	Symbool
9	latente warmtestroomdichtheid	De energie per eenheid van tijd en eenheid van oppervlakte, die wordt gebruikt voor verdamping. (Verdamping als massaflux (24) vermenigvuldigd met de specifieke verdampingswarmte (8)).	$W \cdot m^{-2}$	MT^{-3}	λE
10	voelbare warmtestroomdichtheid	De energie per eenheid van tijd en eenheid van oppervlakte, die in de vorm van verwarming van lucht aan de atmosfeer wordt afgegeven.	$W \cdot m^{-2}$	MT^{-3}	H
11	bodemwarmtestroomdichtheid	De energie per eenheid van tijd en eenheid van oppervlakte, die door de bodem wordt opgenomen.	$W \cdot m^{-2}$	MT^{-3}	G
12	netto stralingsstroomdichtheid	Het verschil tussen de neerwaartse en opwaartse totale (kortgolvlige en langgolvlige) straling per eenheid van tijd en eenheid van oppervlakte.	$W \cdot m^{-2}$	MT^{-3}	Q^*
13	globale stralingsstroomdichtheid	De som van directe en diffuse kortgolvlige zonnestraling (golflengte $< 4\mu m$) die uit de hemisfeer invalt op een horizontaal vlak per eenheid van tijd en eenheid van oppervlakte.	$W \cdot m^{-2}$	MT^{-3}	$K\downarrow$
14	netto kortgolvlige stralingsstroomdichtheid	Het verschil tussen de neerwaartse en gereflecteerde opwaartse (kortgolvlige) straling per eenheid van oppervlakte: $K^* = K\downarrow - K\uparrow$.	$W \cdot m^{-2}$	MT^{-3}	K^*
15	netto langgolvlige stralingsstroomdichtheid	Het verschil tussen de neerwaartse en opwaartse langgolvlige straling per eenheid van tijd en eenheid van oppervlakte $L^* = L\downarrow - L\uparrow$.	$W \cdot m^{-2}$	MT^{-3}	L^*
16	energiebalans van aardoppervlak	De vergelijking die de balans van inkomende en uitgaande energiestromen aan het aardoppervlak ²⁾ uitdrukt: $Q^* = \lambda E + H + G$ (de relatief kleine term van de fotosynthetische energie-vastlegging is hierbij verwaarloosd).	-	-	-
17	"Bowenverhouding"	De voelbare warmtestroomdichtheid (10) gedeeld door de latente warmtestroomdichtheid (9), afgegeven door het aardoppervlak ²⁾ aan de atmosfeer: $\beta = H/\lambda E$.	-	dim.loos	β
18	albedo	De fractie van de (inkomende) globale straling (13) die door het aardoppervlak ²⁾ wordt teruggekaatst: $r = K\uparrow/K$.	-	dim.loos	r

²⁾ voor verklaring zie blz. 336

Nr.	Term	Omschrijving	Gangbare eenheid	Dimensie	Symbool
19	verdamping	De overgang van water in vloeibare of vaste vorm in waterdamp.	-	-	-
20	openwater verdamping	De theoretische verdampingsflux ³⁾ die zou optreden van een oneindig uitgestrekt ondiep glad wateroppervlak (zonder dat opslag van energie optreedt) wanneer dit wateroppervlak wordt blootgesteld aan de heersende meteorologische omstandigheden, die onveranderd blijven door het verdampingsproces zelf; massa(volume)flux. $1 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} = 86.400 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$.	$\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$	$\text{L}^{-2} \text{ MT}^{-1}$	E_o
21	panverdamping	De verdampingsflux ³⁾ uit een verdampingspan. (De gemeten waarde hangt sterk af van het type pan, de wijze van opstelling en de omgeving).	$\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$	$\text{L}^{-2} \text{ MT}^{-1}$	E_{pan}
22a	evaporatie van interceptiewater	De verdampingsflux ³⁾ van interceptiewater.	$\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$	$\text{L}^{-2} \text{ MT}^{-1}$	E_i
22b	bodemevaporatie	De verdampingsflux ³⁾ vanuit de bodem.	$\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$	$\text{L}^{-2} \text{ MT}^{-1}$	E_s
22c	evaporatie	De verdampingsflux ³⁾ van interceptie water en vanuit de bodem (som 22a en 22b: $(E_i + E_s)$).	$\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$	$\text{L}^{-2} \text{ MT}^{-1}$	-
23	transpiratie	De verdampingsflux ³⁾ via de huidmondjes en cuticula van een droog bladoppervlak van planten.	$\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$	$\text{L}^{-2} \text{ MT}^{-1}$	E_t
24	evapotranspiratie	De totale verdampingsflux ³⁾ som 22a + 22b + 23) van een begroeid oppervlak: $E = E_i + E_s + E_t$.	$\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$	$\text{L}^{-2} \text{ MT}^{-1}$	E
25a	potentiële bodemevaporatie	De theoretische bodemevaporatie (22b) die zou optreden van een bodem die voldoende van water is voorzien, wanneer deze bodem blootgesteld wordt aan de heersende meteorologische omstandigheden die onveranderd blijven door het verdampingsproces zelf.	$\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$	$\text{L}^{-2} \text{ MT}^{-1}$	E_{sp}
25b	potentiële transpiratie	De theoretische transpiratie (23) van planten, die voldoende van water zijn voorzien, wanneer zij blootgesteld worden aan de heersende meteorologische omstandigheden.	$\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$	$\text{L}^{-2} \cdot \text{MT}^{-1}$	E_{tp}

³⁾ voor verklaring zie blz. 336

Nr.	Term	Omschrijving	Gangbare eenheid	Dimensie	Symbool
25c	potentiële evapotranspiratie	De som van de potentiële bodem-evaporatie (25a) en de potentiële transpiratie (25b): $E_p = E_{sp} + E_{tp}$.	$\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$	$\text{L}^{-2} \text{T}^{-1}$	E_p
26	relatieve evapotranspiratie	De verhouding van de werkelijke tot de potentiële verdamping (Quotiënt van 24 en 25c: E/E_p).	-	dim.loos	-
27	nat-gewas verdamping	De theoretische verdampingsflux ³⁾ van een fictief wateroppervlak dat de eigenschappen heeft van een gewas. (albedo (18) en aerodynamische weerstand voor waterdamptransport (29)).	$\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$	$\text{L}^{-2} \text{MT}^{-1}$	E_w
28	gras referentie verdamping	De evapotranspiratie (24) van een uitgebreid uniform, van buiten droog grasoppervlak met een hoogte van 8-15 cm dat voldoende van water is voorzien.	$\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$	$\text{L}^{-2} \text{MT}^{-1}$	E_{grass}
29	aerodynamische weerstand voor waterdamptransport	De weerstand voor het transport van waterdamp in de luchtlaag tussen het gewas/bodemoppervlak en de hoogte van de meting.	$\text{s} \cdot \text{m}^{-1}$	$\text{L}^{-1} \text{T}$	r_a
30	gewasweerstand	De schijnbare diffusieweerstand voor het transport van waterdamp van de stomata van een hypothetisch platgeslagen gewas naar de hoogte van de meting. De schijnbare diffusieweerstand voor het transport van waterdamp van de stomata van een hypothetisch platgeslagen gewas naar de hoogte van de meting. Meestal wordt r_c in relatie tot de volgende formule gebruikt: $E = (\epsilon \cdot \rho / p_a) \{ (e_s - e_a) / (r_a + r_c) \}$, waarbij $\epsilon = M_v / M_a = 0,622$.	$\text{s} \cdot \text{m}^{-1}$	$\text{L}^{-1} \text{T}$	r_c

¹⁾ $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N} \cdot \text{m}^{-2} = 1 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$

$1 \text{ mbar} = 100 \text{ N} \cdot \text{m}^{-2} = 1 \text{ hPa}$

²⁾ *Aardoppervlak*: begroeid, onbegroeid (incl. water), bebouwd, onbebouwd oppervlak.

³⁾ *Verdampingsflux*: de massa water die per eenheid van bodem- of wateroppervlakte per tijdseenheid verdampt.

N.B. In het Engels geldt meestal:

flux = per eenheid van tijd (Nederlands: *stroom*)

fluxdensity = per eenheid van tijd en oppervlakte (Nederlands: *stroomdichtheid*).

Opmerking. Voor de verdamping van 1 mm water per dag is een hoeveelheid energie nodig van ongeveer 28,5 J per seconde per m^2 ($= \text{W} \cdot \text{m}^{-2}$).

2.3.2. Bepaling van de verdamping (algemeen)

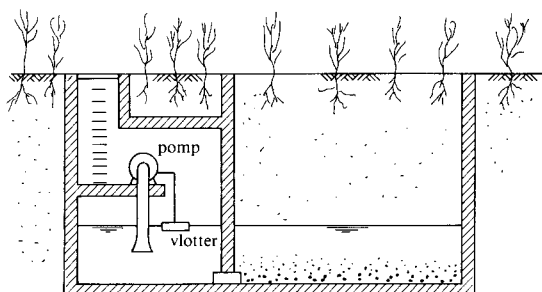
Inleiding

Het verdampingsproces hangt samen met vele factoren die enerzijds met "het weer" te maken hebben en anderzijds met de eigenschappen en de toestand van het aardoppervlak. Deze factoren, die sterk naar plaats en tijd kunnen variëren, worden in het algemeen niet routinematig gemeten. Voorbeelden zijn de nettostraling, het vochtgehalte van de bodem, de verticale gradiënten van luchttemperatuur en luchtvochtigheid, de dikte van de wortelzone, de gewashoogte etc. Er bestaan verschillende methoden voor het bepalen van de verdamping. Een aantal van deze zullen in de volgende paragrafen worden besproken (zie ook *Buishand en Velds*, 1980; *Keijman*, 1981 en *De Bruin*, 1981).

Lysimeters

Voor de bepaling van de verdamping van begroeide oppervlakken is veel gebruik gemaakt van zogenaamde lysimeters (figuur 2.3.2). Een lysimeter is een geïsoleerd gedeelte van de bodem waarvoor de verdamping uit de waterbalans wordt bepaald. Men onderscheidt weegbare en niet-weegbare lysimeters. Bij weegbare lysimeters kunnen bergingsveranderingen eenvoudig door weging worden bepaald.

Figuur 2.3.2.
Schematische voorstelling van een lysimeter.



Een zeer langjarig lysimeteronderzoek (van 1942 t/m 1971) heeft plaatsgevonden in de duinen bij Castricum. Hier werden verschillende duinvegetaties vergeleken. Een goede indruk van het lysimeteronderzoek kan worden verkregen uit een drietal publikaties over de lysimeters in Nederland, zie *Wind* (1958, 1960) en *Rijtema en Ryhiner* (1968). In de oudste van deze publikaties wordt een uitvoerige beschrijving gegeven van alle lysimeters die kort na de oorlog operationeel waren. Een beknopt overzicht van lysimeteropstellingen in Nederland met een uitgebreide literatuurlijst wordt gegeven door *Makkink* (1959).

Waterbalans

Een klassieke methode om de verdamping te verkrijgen is met behulp van de waterbalans van een stroomgebied of een polder. Voor een polder kan de waterbalans de volgende vorm hebben:

$$\underbrace{\text{neerslag} + \text{kwel} + \text{inlaat}}_{\text{toevoer}} = \underbrace{\text{verdamping} + \text{lozing} + \text{bergingsveranderingen}}_{\text{verliezen}}$$

De berekening van de verdamping met behulp van de waterbalans is slechts zinvol indien men de verschillende termen voldoende nauwkeurig kan bepalen en dat is helaas meestal niet het geval. Het meest uitgebreide onderzoek van een waterbalans heeft in Nederland plaatsgevonden in de Rottegeatspolder, zie bijvoorbeeld *Deij e.a.* (1955).

Gedurende het tijdvak 1947-1972 werden de verschillende termen van de waterbalans hier zeer zorgvuldig bepaald. Hieruit werden redelijk nauwkeurige waarden voor de verdamping verkregen.

Een unieke studie van de waterbalans heeft in 1967 plaatsgevonden in het zogenaamde Flevomeer (*Koopmans*, 1968). De berekende verdamping uit de waterbalans bleek redelijk overeen te komen met de berekende verdamping volgens een aantal fysische methoden (*Keijman and Koopmans*, 1973).

Door *Colenbrander* (1970) is een vrij uitvoerig onderzoek verricht naar de bepaling van de verdamping uit de waterbalans van stroomgebieden in Oost-Gelderland.

De eddy-correlatiemethode

Deze methode is gebaseerd op het feit dat de verdamping samenhangt met de snelle fluctuaties van de verticale windsnelheid, w' , en de specifieke vochtigheid, q' :

$E = \bar{\rho} \bar{w}' \bar{q}'$ (*Buishand en Velds*, 1980). Op het ogenblik is de methode nog in onderzoekstadium. De verwachting is echter dat hij binnen tien jaar semi-operationeel is.

De profielmethode

De profielmethode maakt gebruik van

$$E = -\rho \frac{\bar{q}(z_1) - \bar{q}(z_2)}{r_a} \quad (\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}) \quad (2.3.1.)$$

waarin:

ρ	= luchtdichtheid	$(\text{kg} \cdot \text{m}^{-3})$
$\bar{q}(z_i)$	= specifieke vochtigheid op hoogte z_i ($i = 1, 2$) gemiddeld over, zeg, 20 min. of een half uur	
r_a	= aerodynamische weerstand van de luchtlaag tussen z_1 en z_2 $r_1 > r_2$	$(\text{s} \cdot \text{m}^{-1})$

De aerodynamische weerstand hangt samen met de verticale profielen van de windsnelheid en temperatuur (*Brutsaert*, 1982). Omdat hierdoor de methode nogal veel invoergegevens vereist, wordt hij zelden toegepast. De methode werd getest door *Deij* (1960) en *Keijman* (1960, 1963). Indirect werd een profielmethode in Nederland gebruikt door *Brutsaert en Stricker* (1979), *Soer* (1980) en *De Bruin* (1982). Zie de paragraaf over combinatiemethoden (blz. 339).

De energiebalansmethode

Voor verdamping is energie nodig. Aangezien verdamping aan het aardoppervlak plaats vindt, is de energiebalansvergelijking van belang:

$$Q^* = H + \lambda E + G \quad (\text{W} \cdot \text{m}^{-2}) \quad (2.3.2)$$

waarin:

$$\begin{aligned} Q^* &= \text{nettostraling} & (\text{W} \cdot \text{m}^{-2}) \\ E &= \text{verdamping} & (\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}) \\ \lambda &= \text{verdampingswarmte van water} & (2,45 \cdot 10^6 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ bij } 20^\circ\text{C}) \\ H &= \text{voelbare warmtestroomdichtheid van het oppervlak naar de atmosfeer} & (\text{W} \cdot \text{m}^{-2}) \\ G &= \text{bodemwarmtestroomdichtheid van het oppervlak naar beneden} & (\text{W} \cdot \text{m}^{-2}) \end{aligned}$$

In principe kunnen Q^* en G direct worden gemeten. Tevens kunnen deze worden geschat uit standaard weergegevens (zie par. III. 2.3.3).

De verhouding tussen H en λE wordt de *Bowenverhouding* genoemd: $\beta = H/\lambda E$. Men kan aantonen dat deze gelijk is aan (*Buishand en Velds*, 1980)

$$\beta = \gamma \frac{\Delta T}{\Delta e} \quad (2.3.3)$$

waarin:

$$\begin{aligned} \gamma &= \text{psychrometerconstante (0,66 mbar} \cdot \text{K}^{-1} \text{ bij } 20^\circ\text{C)} \\ \Delta T &= T(z_2) - T(z_1) = \text{temperatuurverschil tussen hoogte } z_1 \text{ en } z_2 \quad (^\circ\text{C}) \\ \Delta e &= e(z_2) - e(z_1), \text{ idem voor waterdampspanning} \quad (\text{mbar}) \end{aligned}$$

Door de verticale temperatuur- en waterdampspanningsverschillen te meten, kan β bepaald worden. De verdamping volgt dan uit vergelijkingen 2.3.2 en 2.3.3:

$$E = \frac{Q^* - G}{\lambda(1 + \beta)} \quad (\text{W} \cdot \text{m}^{-2}) \quad (2.3.4)$$

Als tijdstap moet circa een half uur worden gekozen. Dit maakt deze energiebalansmethode, waarbij de Bowenverhouding wordt bepaald, te complex voor toepassing op grote schaal. In Nederland werd de methode gebruikt door onder andere *Keijman en Koopmans* (1973) boven water en door *De Bruin en Kohsiek* (1977), *De Bruin* (1982) en *Nieuwenhuis en Palland* (1982) boven respectievelijk gras en aardappelen.

Combinatiemethoden

Deze ontstaan uit combinatie van de profielmethode met de energiebalansmethode. Er zijn twee varianten. Bij de eerste wordt de voelbare warmtestroomdichtheid, H , bepaald met een profielmethode, waarna E volgt uit de energiebalansvergelijking 2.3.2. *Brutsaert en Stricker* (1979), *Soer* (1980) en *De Bruin* (1982) pasten deze aanpak in Nederland toe. *Soer* (1980) gebruikte de oppervlaktetemperatuur. Zijn methode wordt toegepast in remote-sensing studies, zie bijvoorbeeld *Nieuwenhuis* (1983) en *Thunnissen en Van Poelje* (1984).

De tweede variant van de combinatiemethode is het meest bekend. Dit is namelijk de Penman-formule die in par. III. 2.3.4 nader wordt besproken. Zie ook *De Bruin en Kohsiek* (1979), *Buishand en Velds* (1980) en *Keijman* (1981).

Het is ook mogelijk H op een andere wijze te bepalen en dan vervolgens E uit de energiebalansvergelijking 2.3.2. Voorbeelden zijn: de H bepaald met de eddy-correlatiemethode (*Schotanus e.a.*, 1983), met de temperatuurfluctuatiemethode (*De Bruin*, 1981, 1982) en de scintillatiemethode (*Kohsiek en Herben*, 1983).

Bij de laatste twee technieken wordt gebruik gemaakt van het feit dat H samenhangt met de intensiteit van de temperatuurturbulentie van de atmosfeer (*De Bruin*, 1982; *Kohsiek*, 1982). De verdamping zelf hangt ook nog van de turbulentiegraad van de specifieke vochtigheid af.

2.3.3. Nettostraling en bodemwarmtestroomdichtheid

Bij verschillende methoden voor het bepalen van de verdamping spelen de nettostraling en de bodemwarmtestroom een belangrijke rol. Deze worden in het nu volgende daarom nader bekeken.

*De nettostraling, Q^**

De nettostraling wordt bepaald uit de stralingsbalans van het aardoppervlak volgens:

$$Q^* = K\downarrow - K\uparrow + L\downarrow - L\uparrow \quad (\text{W} \cdot \text{m}^{-2}) \quad (2.3.5)$$

waarin:

$K\downarrow$ = inkomende kortgolvlige straling

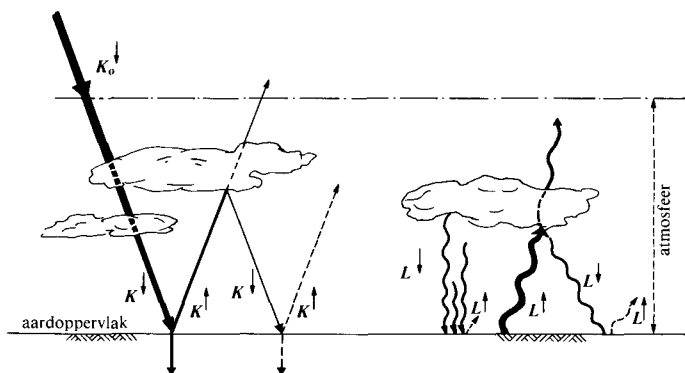
$K\uparrow$ = uitgaande kortgolvlige straling

$L\downarrow$ = inkomende langgolvlige straling

$L\uparrow$ = uitgaande langgolvlige straling

In figuur 2.3.3 zijn de termen van de stralingsbalans schematisch weergegeven.

Figuur 2.3.3.
Schematische voorstelling
van de termen van de
stralingsbalans.



De inkomende kortgolvlige straling, $K\downarrow$, ook wel *globale straling* genoemd, met golflengten tussen $0,15\ \mu\text{m}$ en $4,0\ \mu\text{m}$, is afkomstig van de zon. Het bereikt het aardoppervlak hetzij direct, hetzij indirect via reflectie aan wolken of verstrooiing aan luchtmoleculen of wolkendruppeltjes.

Een deel van $K\downarrow$ wordt gereflecteerd door het aardoppervlak. Dit is de uitgaande kortgolvlige straling, $K\uparrow$, waarvoor geldt:

$$K\uparrow = r \cdot K\downarrow \qquad (\text{W} \cdot \text{m}^{-2}) \qquad (2.3.6)$$

waarin r is de *albedo* of de *reflectiefactor* van het aardoppervlak voor kortgolvlige straling.

Op onze breedte is r van water gemiddeld ongeveer 0,06; die van kort, groen gras is 0,20-0,25.

Naast zonlicht ontvangt het aardoppervlak ook straling afkomstig van de atmosfeer, de inkomende langgolvlige straling, $L\downarrow$. Dit betreft thermisch infrarode straling met een golflengte tussen 4 en $50\ \mu\text{m}$, en wordt uitgezonden door wolken (waterdruppeltjes) en bepaalde gasen, waarvan waterdamp en kooldioxyde de belangrijkste zijn.

Een deel van $L\downarrow$ wordt door het aardoppervlak gereflecteerd, maar omdat de meeste natuurlijke oppervlakken bijna zwart zijn in het infrarode gebied, is dit deel in eerste benadering verwaarloosbaar.

De aarde zendt zelf ook thermische langgolvlige straling uit. Deze wordt de uitgaande langgolvlige straling, $L\uparrow$, genoemd.

De verschillende componenten van Q^* worden in het algemeen niet direct gemeten (met uitzondering van $K\downarrow$, die in Nederland sinds het begin van de jaren zestig door het K.N.M.I. routinematig wordt waargenomen). Men is daarom in veel gevallen aangewezen op schattingsformules.

$K\downarrow$ kan worden geschat met:

$$K\downarrow = K_0\downarrow (a + b \cdot n/N) \qquad (\text{W} \cdot \text{m}^{-2}) \qquad (2.3.7)$$

waarin:

- $K_0\downarrow$ = de inkomende straling op een horizontaal oppervlak aan de rand van de atmosfeer ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$)
- n = de zonneshijnduur (h)
- N = de maximaal mogelijke zonneshijnduur (h)
- a en b = empirische constanten

In tabel 2.3.1 respectievelijk 2.3.2 worden voor 52°NB de waarden van $K_0\downarrow$ en N per dag gegeven. Voor 51°NB en 53°NB zijn de gemiddelde waarden per decade vermeld. Voor het berekenen van $K_0\downarrow$ en N bestaan computerprogramma's (bijvoorbeeld *De Bruin*, 1977).

Tabel 2.3.1. De inkomende kortgolvlige straling $K_o \downarrow$ aan de rand van de atmosfeer ($W \cdot m^{-2}$) per dag op 52°NB (tabel A) en per decade en per maand op 51°NB, 52°NB en 53°NB (tabel B).

A													
	DAG	JAN.	FEB.	MRT.	APR.	MEI	JUN.	JUL.	AUG.	SEP.	OKT.	NOV.	DEC.
52°NB	1	75	119	198	307	403	466	475	428	339	237	141	84
	2	76	121	202	310	405	467	474	425	336	234	139	83
	3	76	124	205	314	408	468	473	423	333	230	136	82
	4	77	126	208	317	411	469	473	421	329	227	134	81
	5	78	128	212	320	413	470	472	418	326	223	131	80
	6	78	131	215	324	416	471	471	416	323	220	129	79
	7	79	133	219	327	418	472	470	413	319	217	126	78
	8	80	136	222	331	421	473	469	410	316	213	124	77
	9	81	138	225	334	423	474	468	408	313	210	122	77
	10	82	141	229	338	426	475	467	405	309	207	120	76
	11	83	144	232	341	428	475	465	403	306	204	117	75
	12	85	146	236	344	430	476	464	400	302	200	115	75
	13	86	149	239	345	433	476	463	397	299	197	113	74
	14	87	152	243	351	435	477	461	394	295	194	111	74
	15	88	155	246	354	437	477	460	391	292	191	109	73
	16	90	158	250	357	439	477	458	389	289	188	107	73
	17	91	161	253	361	441	478	457	386	285	184	105	73
	18	93	164	257	364	443	478	455	383	282	181	103	72
	19	94	167	261	367	445	478	454	380	278	178	102	72
	20	96	170	264	370	447	478	452	377	275	175	100	72
	21	97	173	268	373	449	478	450	374	271	172	98	72
	22	99	176	271	376	451	478	448	371	268	169	96	72
	23	101	179	275	379	453	478	447	368	264	166	95	72
	24	103	182	278	382	454	478	445	365	261	163	93	72
	25	105	185	282	385	456	478	443	362	258	161	92	72
	26	106	189	285	388	458	477	441	358	254	158	90	72
	27	108	192	289	391	459	477	439	355	251	155	89	73
	28	110	193	292	394	461	477	436	352	247	152	88	73
	29	112		296	397	462	476	434	349	244	149	86	73
	30	115		300	400	463	476	432	346	240	147	85	74
	31	117		303		465		430	342		144		74

B													
		JAN.	FEB.	MRT.	APR.	MEI	JUN.	JUL.	AUG.	SEP.	OKT.	NOV.	DEC.
51°NB	1e dec.	85	137	220	327	417	471	472	419	329	228	137	87
	2e dec.	96	164	225	360	440	478	460	393	296	196	115	80
	3e dec.	114	191	291	390	458	478	442	362	262	165	98	79
	maand	99	162	256	359	439	476	458	391	296	195	117	82
52°NB	1e dec.	78	128	214	322	414	471	471	417	324	222	130	80
	2e dec.	89	157	248	356	438	477	459	390	290	189	108	73
	3e dec.	107	184	285	387	457	477	440	358	256	158	91	73
	maand	92	155	250	355	437	475	456	387	290	189	110	75
53°NB	1e dec.	72	123	207	317	412	470	470	414	319	215	123	73
	2e dec.	83	150	242	351	436	477	458	387	285	183	101	67
	3e dec.	100	176	279	383	456	477	439	354	250	151	85	66
	maand	85	147	244	351	435	474	455	384	285	182	103	69

Tabel 2.3.2. De maximaal mogelijke zonneshijnduur (*N*) per dag op 52°NB (tabel A) en per decade en per maand op 51°NB, 52°NB en 53°NB (tabel B).

A		DAG	JAN.	FEB.	MRT.	APR.	MEI	JUN.	JUL.	AUG.	SEP.	OKT.	NOV.	DEC.
52° NB	1	7,8	9,1	10,8	12,9	14,9	16,4	16,7	15,5	13,7	11,7	9,7	8,1	
	2	7,8	9,1	10,9	13,0	14,9	16,4	16,7	15,5	13,6	11,6	9,6	8,1	
	3	7,9	9,2	11,0	13,1	15,0	16,5	16,6	15,4	13,5	11,5	9,5	8,0	
	4	7,9	9,2	11,0	13,1	15,1	16,5	16,6	15,4	13,5	11,5	9,5	8,0	
	5	7,9	9,3	11,1	13,2	15,1	16,5	16,6	15,3	13,4	11,4	9,4	8,0	
	6	7,9	9,4	11,2	13,3	15,2	16,5	16,6	15,3	13,3	11,3	9,4	8,0	
	7	8,0	9,4	11,2	13,3	15,2	16,6	16,6	15,2	13,3	11,3	9,3	7,9	
	8	8,0	9,5	11,3	13,4	15,3	16,6	16,5	15,1	13,2	11,2	9,2	7,9	
	9	8,0	9,5	11,4	13,5	15,3	16,6	16,5	15,1	13,1	11,1	9,2	7,9	
	10	8,1	9,6	11,4	13,5	15,4	16,6	16,5	15,0	13,1	11,1	9,1	7,9	
	11	8,1	9,7	11,5	13,6	15,4	16,7	16,4	15,0	13,0	11,0	9,1	7,8	
	12	8,1	9,7	11,6	13,7	15,5	16,7	16,4	14,9	12,9	10,9	9,0	7,8	
	13	8,2	9,8	11,6	13,7	15,6	16,7	16,4	14,9	12,9	10,9	9,0	7,8	
	14	8,2	9,9	11,7	13,8	15,6	16,7	16,3	14,8	12,8	10,8	8,9	7,8	
	15	8,2	9,9	11,8	13,9	15,7	16,7	16,3	14,7	12,7	10,7	8,8	7,8	
	16	8,3	10,0	11,9	13,9	15,7	16,7	16,3	14,7	12,7	10,7	8,8	7,8	
	17	8,3	10,1	11,9	14,0	15,8	16,7	16,2	14,6	12,6	10,6	8,7	7,7	
	18	8,4	10,1	12,0	14,1	15,8	16,7	16,2	14,5	12,5	10,5	8,7	7,7	
	19	8,4	10,2	12,1	14,1	15,9	16,7	16,2	14,5	12,5	10,5	8,6	7,7	
	20	8,5	10,2	12,1	14,2	15,9	16,8	16,1	14,4	12,4	10,4	8,6	7,7	
	21	8,5	10,3	12,2	14,2	16,0	16,8	16,1	14,4	12,3	10,3	8,5	7,7	
	22	8,5	10,4	12,3	14,3	16,0	16,8	16,0	14,3	12,3	10,3	8,5	7,7	
	23	8,6	10,4	12,3	14,4	16,0	16,8	16,0	14,2	12,2	10,2	8,4	7,7	
	24	8,6	10,5	12,4	14,4	16,1	16,8	15,9	14,2	12,1	10,2	8,4	7,7	
	25	8,7	10,6	12,5	14,5	16,1	16,7	15,9	14,1	12,1	10,1	8,4	7,7	
	26	8,7	10,6	12,5	14,6	16,2	16,7	15,8	14,0	12,0	10,0	8,3	7,7	
	27	8,8	10,7	12,6	14,6	16,2	16,7	15,8	14,0	11,9	10,0	8,3	7,7	
	28	8,9	10,8	12,7	14,7	16,3	16,7	15,7	13,9	11,9	9,9	8,2	7,8	
	29	8,9	10,8	12,7	14,8	16,3	16,7	15,7	13,9	11,8	9,8	8,2	7,8	
	30	9,0		12,8	14,8	16,3	16,7	15,6	13,8	11,7	9,8	8,2	7,8	
	31	9,0		12,9		16,4		15,6	13,7		9,7		7,8	

B		JAN.	FEB.	MRT.	APR.	MEI	JUN.	JUL.	AUG.	SEP.	OKT.	NOV.	DEC.
51° NB	1e dec.	81,1	94,6	111,8	131,9	149,9	163,2	163,7	151,5	133,0	114,0	95,0	81,7
	2e dec.	84,3	100,5	118,3	138,1	155,1	164,9	160,8	145,8	126,8	107,6	89,5	79,6
	3e dec.	97,9	95,7	137,5	144,3	175,8	165,0	172,3	153,6	120,3	111,3	85,1	87,3
	maand	263,3	290,8	367,6	414,3	480,8	493,1	496,8	450,9	380,1	332,9	269,6	248,6
52° NB	1e dec.	79,3	93,3	111,3	132,3	151,4	165,2	165,9	152,8	133,7	113,7	93,9	79,8
	2e dec.	82,7	99,6	118,2	139,0	156,9	167,1	162,8	147,0	127,0	107,0	88,2	77,6
	3e dec.	96,2	95,1	137,9	145,3	177,9	167,4	174,1	154,5	120,3	110,3	83,5	85,1
	maand	258,2	288,0	367,4	416,6	486,2	499,7	502,8	454,3	381,0	331,0	265,5	242,5
53° NB	1e dec.	77,5	92,3	111,1	132,8	152,6	167,1	167,8	154,1	134,0	113,4	92,8	78,1
	2e dec.	81,1	98,7	118,1	139,7	158,4	169,2	164,6	148,0	127,3	106,6	86,9	75,9
	3e dec.	94,9	94,6	138,0	146,3	179,7	169,4	175,7	155,4	120,3	109,4	81,9	83,1
	maand	253,5	285,6	367,2	418,8	490,7	505,7	508,1	457,5	381,6	329,4	261,6	237,1

Penman vond voor Z.O.-Engeland $a = 0,20$ en $b = 0,48$. Deze constanten zijn later door het K.N.M.I. overgenomen voor het berekenen van de zogenaamde open-waterverdamping (Kramer, 1957). Voor Nederland stellen Frantzen en Raaff (1982) voor:

$$\begin{aligned} a &= 0,21 \text{ en } b = 0,61 \text{ voor de kust en} \\ a &= 0,20 \text{ en } b = 0,60 \text{ voor het binnenland.} \end{aligned}$$

Deze waarden zijn gebaseerd op maandgemiddelden. Voor dagcijfers van De Bilt vinden zij: $a = 0,19$ en $b = 0,55-0,56$. Deze waarden voor b verschillen aanzienlijk van die van Penman.

Bij afwezigheid van wolken kan $L\downarrow$ geschat worden met:

$$L_o\downarrow = \epsilon_{\text{atm}} \sigma T_2^4 \quad (\text{W} \cdot \text{m}^{-2}) \quad (2.3.8)$$

waarin:

$$\begin{aligned} L_o\downarrow &= \text{inkomende langgolvlige straling bij onbedekte hemel} \\ \epsilon_{\text{atm}} &= \text{de effectieve emissiefactor van de wolkenloze hemel} \\ \sigma &= \text{de Stefan-Boltzmann constante } (= 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}) \\ T_2 &= \text{de temperatuur op 2 m boven het aardoppervlak, uitgedrukt in K} \end{aligned}$$

Brunt (1939) stelde de volgende empirische relatie voor:

$$\epsilon_{\text{atm}} = c + d\sqrt{e_2} \quad (2.3.9)$$

waarin:

$$\begin{aligned} c \text{ en } d &\text{ constanten zijn en} \\ e_2 &\text{ de dampdruk} \end{aligned}$$

Volgens Penman (1948) is $c = 0,53$ en $d = 0,067 \text{ mbar}^{-1/2}$, indien e_2 in mbar wordt uitgedrukt (Kramer, 1957).

Het effect van bewolking op $L\downarrow$ kan op verschillende wijzen worden beschreven (bijvoorbeeld Brutsaert, 1982).

Penman (1948) gebruikte hiervoor:

$$L\downarrow = \sigma T_2^4 + (\epsilon_{\text{atm}}^{-1}) \sigma T_2^4 \{ p + (1 - p)n/N \} \quad (\text{W} \cdot \text{m}^{-2}) \quad (2.3.10)$$

waarin p een empirische constante is.

Deze methode wordt ook toegepast door het K.N.M.I. (Kramer, 1957) met $p = 0,8$.

Omdat het aardoppervlak in het infrarode gebied in goede benadering een grijze straler is wordt $L\uparrow$ beschreven door

$$L\uparrow = \varepsilon \sigma T_0^4 \quad (\text{W} \cdot \text{m}^{-2}) \quad (2.3.11)$$

waarin:

- T_0 = de oppervlaktetemperatuur in K
- ε = de emissiefactor die voor gewassen en water dichtbij 1 ligt (0,97 à 0,98) zodat deze in eerste benadering 1 kan worden genomen

In het algemeen is T_0 niet bekend. Voor berekeningen over 24 uur wordt T_0 meestal vervangen door T_2 .

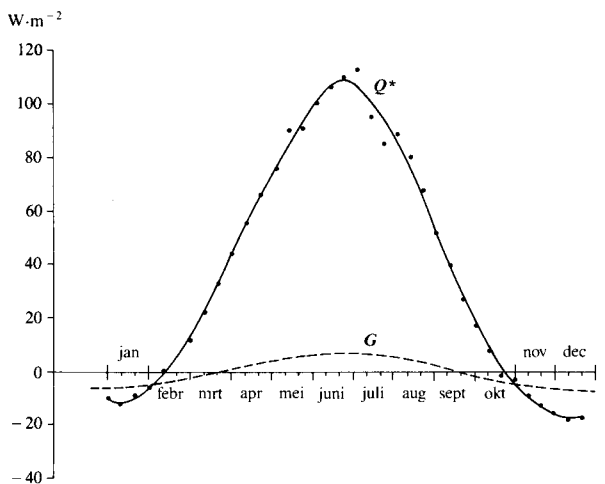
Dit is een redelijke benadering voor een landoppervlak maar voor een wateroppervlak is dit in veel gevallen te ruw.

De warmteopslagterm G

In het algemeen wordt in het voorjaar en vroege zomer zonnewarmte in het aardoppervlak opgeslagen. In dat geval is G positief. Door afkoeling komt deze warmte in het najaar en vroege winter weer vrij en is G negatief.

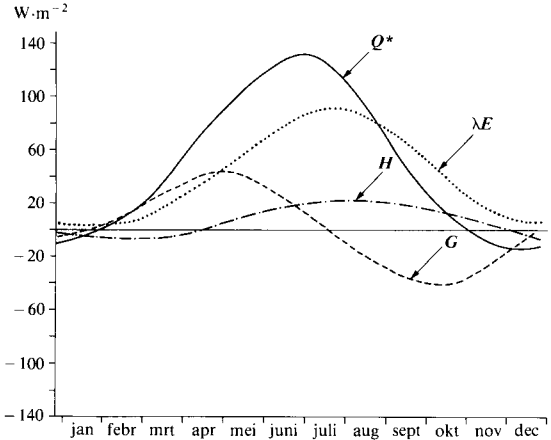
Voor landoppervlakken is G relatief gering. De waarde van G wordt in belangrijke mate bepaald door de warmtegeleidingscoëfficiënt van de bodem. De grootte hiervan hangt af van het vochtgehalte van de bodem (*De Vries*, 1952). Uitgaande van een homogene natte zandgrond bedekt met gras, vonden *De Bruin en Kohsiek* (1979) dat in het zomerhalfjaar de bodemwarmtestroom hooguit 5% van de nettostraling is. In de winter is G circa de helft van Q^* (zie fig. 2.3.4).

Figuur 2.3.4.
De gemiddelde jaarlijkse gang van de nettostraling (Q^*) en de bodemwarmtestroom (G) voor grasland op een homogene, vochtige zandgrond te De Bilt over de periode 1971-1976. (Uit: *De Bruin en Kohsiek*, 1979).



Uit metingen te Cabauw (gras op kleigrond) van de etmaalsommen van G en Q^* blijkt dat in het zomerhalfjaar de bodemwarmtestroom circa 5-10% van de nettostraling is. De verhouding is echter verschillend voor dag en nacht. Overdag is $G \approx 0,1 Q^*$, terwijl 's nachts de bodemwarmtestroom de helft van de nettostraling kan bedragen, of meer. Voor wateroppervlakken blijkt dat de amplitude van G evenredig is met de waterdiepte. De Bruin (1982b) vindt voor Nederlandse omstandigheden voor een meer van 5 m diep dat deze ongeveer $40 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ is (zie fig. 2.3.5). Als de waterdiepte minder is dan 1 m is G onder de meeste Nederlandse omstandigheden te verwaarlozen.

Figuur 2.3.5.
 De gemiddelde jaarlijkse gang van de nettostraling (Q^*), de latente warmtestroomdichtheid $\lambda E = \text{verdamping } E \times \text{verdampingswarmte } \lambda$, de voelbare warmtestroomdichtheid (H) en de warmte-opslag term G (zie tekst) voor een goed gemengd meer van 5 m diep. (Uit: De Bruin, 1982)



2.3.4. Verdamping van een vrij wateroppervlak

De Penman-formule

Beschouwt men een zeer uitgestrekt, horizontaal homogeen (bijvoorbeeld geen horizontale temperatuurverschillen en constante diepte) wateroppervlak, dan wordt de verdamping van dit zogeheten vrije wateroppervlak beschreven door de formule van Penman (1948):

$$\lambda E = \frac{s(Q^* - G) + \gamma \lambda E_a}{s + \gamma} \qquad (\text{W} \cdot \text{m}^{-2}) \qquad (2.3.12)$$

waarin:

Q^*	=	de netto-straling	$(\text{W} \cdot \text{m}^{-2})$
G	=	de verandering per seconde van de hoeveelheid warmte per m^2 in het water opgeslagen	$(\text{W} \cdot \text{m}^{-2})$
γ	=	psychrometerconstante ($\approx 0,66 \text{ mbar} \cdot \text{K}^{-1}$ op zeeniveau)	
s	=	$de_s(T)/dT$, de afgeleide van de verzadigingsdampspanning $e_s(T)$ bij luchttemperatuur T_2 op waarnemingshoogte	$(\text{mbar} \cdot \text{K}^{-1})$
λ	=	verdampingswarmte van water ($2,45 \cdot 10^6 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$ bij 20°C)	
E_a	=	de zogenaamde isotherme verdamping (dit is de verdamping van een wateroppervlak met dezelfde temperatuur als de lucht)	$(\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$

De grootheid E_a wordt gegeven door:

$$E_a = \frac{f(u)}{\lambda} \{e_s(T_2) - e_2\} \quad (\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}) \quad (2.3.13)$$

waarin:

$$\begin{aligned} e_s(T_2) &= \text{de verzadigingsdampspanning bij luchttemperatuur } T_2 & (\text{mbar}) \\ f(u) &= \text{een functie van de windsnelheid } u & (\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{mbar}^{-1}) \end{aligned}$$

Een goede analytische benadering voor e_s is:

$$e_s(T) = e_s(0) \cdot 10^{\left[\frac{7,5}{T + 237,3}\right]} \quad (\text{mbar}) \quad (2.3.14)$$

waarin $e_s(0) = 6,107$ mbar en T in $^{\circ}\text{C}$; s volgt uit differentiëren van deze uitdrukking naar T . Dit leidt tot:

$$s = \left(\frac{de_s}{dT}\right) = e_s(T) \frac{7,5 \cdot 237,3}{(T + 237,3)^2} \ln 10 \quad (2.3.15)$$

In tabel 2.3.3 worden de waarden van e_s en s als functie van de temperatuur gegeven.

In par. III. 2.3.3 is reeds uiteengezet hoe de nettostraling Q^* kan worden berekend. Merk op dat de albedo van water ongeveer 0,06 is onder gemiddelde Nederlandse omstandigheden.

De windfunctie $f(u)$

Strikt genomen is de term "windfunctie" misleidend, omdat $f(u)$ niet alleen een functie is van de windsnelheid, maar ook van andere factoren, zoals bijvoorbeeld de stabiliteit van de atmosfeer. Verder is in de praktijk het wateroppervlak niet zeer uitgestrekt (wat een voorwaarde is voor de geldigheid van de Penman-formule), zodat randeffecten een rol gaan spelen. Deze laatste kunnen empirisch in $f(u)$ worden verdisconteerd door deze ook van de oppervlakte A afhankelijk te maken.

Sweers (1976) vond voor meren:

$$f(u) = \left(\frac{5}{A}\right)^{0,05} (3,6 + 2,7 u_2) \quad (\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{mbar}^{-1}) \quad (2.3.16)$$

waarin:

$$\begin{aligned} A &= \text{de representatieve oppervlakte} & (\text{km}^2) \\ u_2 &= \text{de windsnelheid op 2 m boven het wateroppervlak} \end{aligned}$$

Tabel 2.3.3. De verzadigingsdampspanning van waterdamp (ten opzichte van water) $e_s(T)$ en $s = \frac{de_s(T)}{dT}$ als functie van de temperatuur T .

T (°C)	$e_s(T)$ (mbar)	$s(T)$ mbar °C ⁻³	T (°C)	$e_s(T)$ (mbar)	$s(T)$ mbar °C ⁻¹
-5	4,21	0,32	21	24,86	1,53
-4	4,55	0,34	22	26,43	1,62
-3	4,90	0,37	23	28,09	1,70
-2	5,28	0,39	24	29,83	1,79
-1	5,68	0,42	25	31,87	1,89
0	6,11	0,45	26	33,61	1,99
1	6,57	0,48	27	35,65	2,10
2	7,05	0,51	28	37,80	2,21
3	7,58	0,54	29	40,06	2,32
4	8,13	0,57	30	42,43	2,44
5	8,72	0,61	31	44,93	2,57
6	9,35	0,65	32	47,55	2,69
7	10,01	0,69	33	50,31	2,83
8	10,72	0,73	34	53,20	2,97
9	11,47	0,78	35	56,24	3,12
10	12,27	0,83	36	59,42	3,27
11	13,12	0,88	37	62,76	3,43
12	14,02	0,93	38	66,26	3,57
13	14,97	0,98	39	69,93	3,76
14	15,98	1,04	40	73,78	3,94
15	17,04	1,10	41	77,80	4,13
16	18,17	1,17	42	82,02	4,32
17	19,37	1,23	43	86,42	4,52
18	20,63	1,30	44	91,03	4,73
19	21,98	1,37	45	95,86	4,94
20	23,37	1,45			

Bij een regelmatig gevormd meer is A de werkelijke oppervlakte, maar bij langgerekte meren is A het kwadraat van de strijklengte over het water. In de praktijk wordt de wind echter niet boven het water zelf, maar op een naburig landstation gemeten op 10 meter hoogte. Dan beveelt *Sweers* (1976) aan:

$$f(u) = 4,4 + 1,82 u_{10} \qquad (W \cdot m^{-2} \cdot mbar^{-1}) \qquad (2.3.17)$$

waarin u_{10} de windsnelheid is op 10 m boven maaiveld gemeten op een naburig windstation.

Opmerking: Penman stelde voor om als windfunctie te nemen:

$$f(u) = 3,7 + 4,0 u_2 \qquad (W \cdot m^{-2} \cdot mbar^{-1}) \qquad (2.3.18)$$

Deze werd onder meer door het K.N.M.I. gebruikt voor het berekenen van de openwaterverdamping E_o (zie par. III. 2.3.6). Voor "echt" water is vergelijking 2.3.18 minder geschikt (*De Bruin en Kohsiek*, 1979).

De Priestley-Taylorformule

Na het analyseren van een aantal micro-meteorologische gegevens vonden *Priestley en Taylor* (1972) dat de verdamping van zowel wateroppervlakken als van goed van water voorziene landoppervlakken redelijk wordt benaderd door de empirische relatie:

$$\lambda E = \alpha \frac{s}{s + \gamma} (Q - G) \quad (\text{W} \cdot \text{m}^{-2}) \quad (2.3.19)$$

waarin α is de zogeheten Priestley-Taylor constante, waarvoor een waarde van 1,26 werd gevonden.

De Bruin en Keijman (1979) vonden voor het toenmalige Flevomeer (nu de zuidelijke Flevopolder) dat voor etmaalgemiddelden in de zomermaanden formule (2.3.19) goede resultaten oplevert. Echter over het gehele jaar gezien werden afwijkingen gevonden en bleek dat

$$\lambda E = \alpha' \frac{s}{s + \gamma} (Q^* - G) + \beta \quad (\text{W} \cdot \text{m}^{-2}) \quad (2.3.20)$$

waarin α' en β constanten, beter voldoet, waarbij ruwweg $\alpha' \approx 1,1$ en $\beta = 10 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$.

Formules (2.3.19) en (2.3.20) worden ook toegepast om de potentiële verdamping van gewassen te schatten. Deze formules blijken ook aardig te voldoen voor grasland (*De Bruin en Holtslag*, 1982). Voor aardappelen vonden *Nieuwenhuis en Palland* (1982) $\alpha' = 1,5$ en $\beta = 0$. Bij deze laatste metingen speelde advection een rol.

2.3.5. Verdamping van een landoppervlak

Inleiding

Het verdampingsproces van een landoppervlak is ingewikkelder dan van een wateroppervlak omdat factoren als bodemvocht en begroeiing ook een rol gaan spelen.

Een belangrijk verschil tussen beide is dat de verdamping van een landoppervlak belangrijk gereduceerd kan worden ten gevolge van uitdroging, terwijl dit bij een wateroppervlak uiteraard nooit het geval is. Verder zijn er verschillen ten aanzien van warmtecapaciteit, reflectie van zonlicht en aerodynamische ruwheid.

Voor een beschrijving van de voornaamste verdampingskenmerken van een aantal landbouwgewassen, van loofbos en naaldbos en van kale grond zie het rapport van de ad hoc groep Verdamping (*Begeleidingsgroep Gelgam*, 1984).

De hoeveelheid water die door begroeide oppervlakken wordt verdampt, kan worden opgesplitst in een hoeveelheid die via de plant verdampt (transpiratie, E_t), een hoeveelheid die rechtstreeks vanaf het bodemoppervlak verdampt (bodemverdamping, E_s) en een hoeveelheid die direct vanaf het bladoppervlak verdampt (interceptieverdamping, E_i). Beide laatstgenoemde hoeveelheden vormen samen de evaporatie. De totale hoeveelheid verdampt water wordt aangeduid als verdamping of evapotranspiratie, E :

$$E = E_t + E_s + E_i \quad (\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}) \quad (2.3.21)$$

Verdamping van een nat landoppervlak; interceptie, (E_i)

Omdat de lucht direct boven een van buiten nat landoppervlak verzadigd is, is de Penman-formule ook hierop van toepassing, met dien verstande dat de windfunctie $f(u)$, de nettostraling (Q^*) en de warmteopslagterm (G) moeten worden aangepast.

Het is gebruikelijk om van landoppervlakken de aerodynamische weerstand in te voeren in plaats van de windfunctie (zie *Monteith*, 1981).

De Penman-formule toegepast op een nat landoppervlak ziet er dan als volgt uit:

$$\lambda E_{\text{nat}} = \frac{s(Q^* - G) + \rho c_p \{e_s(T_2) - e_2\} / r_a}{s + \gamma} \quad (\text{W} \cdot \text{m}^{-2}) \quad (2.3.22)$$

waarin:

ρ	= de dichtheid van lucht (1,2 kg · m ⁻³ bij 15°C en 1.000 mbar)	(kg · m ⁻³)
c_p	= de soortelijke warmte van lucht bij constante druk (1005 J · kg ⁻¹ · K ⁻¹)	(J · kg ⁻¹ · K ⁻¹)
r_a	= de aerodynamische weerstand van de luchtlaag tussen de grond en 2 m voor warmte en waterdamp	(s · m ⁻¹)
G	= heet nu de bodemwarmtestroomdichtheid	(W · m ⁻²)

De aerodynamische weerstand hangt af van de windsnelheid, de stabiliteit van de lucht en de ruwheid van het aardoppervlak (*Keijman*, 1981). Van korte gewassen en licht onstabiele omstandigheden kan r_a worden benaderd door (*Thom en Oliver*, 1977):

$$r_a = \frac{4,72 \left\{ \ln \left(\frac{2}{z_0} \right) \right\}^2}{1 + 0,54 u_2} \quad (\text{s} \cdot \text{m}^{-1}) \quad (2.3.23)$$

waarin:

z_0	= de ruwheidslengte van het oppervlak (voor gras 0,01 tot 0,03 m)	(m)
u_2	= de windsnelheid op 2 m hoogte	(m · s ⁻¹)

Een typische waarde van r_a voor gras is 40 à 50 s · m⁻¹, terwijl die van volgroeid naaldbos 10 s · m⁻¹ bedraagt. Op dit soort van zeer ruwe oppervlakken is vergelijking 2.3.22 overigens niet meer van toepassing.

Indien men etmaalgemiddelden gebruikt, is de bodemwarmtestroom G in eerste benadering verwaarloosbaar klein, vooral in de zomer.

Overdag in de zomer is $G \approx 0,1 Q^*$ voor kort gras (*De Bruin en Holtslag*, 1982).

De albedo van landoppervlakken is over het algemeen hoger dan dat van water (*Sellers*, 1965). Voor kort gras bedraagt deze ongeveer 0,20-0,25.

Interceptie, E_i

Vergelijking 2.3.22 is van belang voor het inschatten van de interceptieverdamping. Is het gewas volledig door neerslag of dauw bevochtigd dan is de totale verdamping gelijk aan de interceptie-verdamping; de transpiratie is in dit geval nul. De interceptie hangt samen met de neerslagduur en -hoogte en de maximale hoeveelheid water (I_m) die het gewas kan vasthouden (zie bijvoorbeeld *Gash*, 1979). Enkele typische waarden voor I_m zijn gegeven in tabel 2.3.4.

Tabel 2.3.4. I_m -waarde voor een aantal gewassen.

Gewas	I_m -waarde
gras	0,5 mm
granen, mais	1,0 mm
aardappelen, suikerbieten	1,0 mm
loofbos	1,5 mm
naaldbos	2,0 mm

In een klimaatgebied met een lage neerslagintensiteit, hoge windsnelheid en lange neerslagduur kan de interceptie-verdamping voor gewassen met een hoge I_m -waarde, zeer hoge waarden bereiken. Een voorbeeld is een naaldbos in Plynlimon (Wales) dat over 1970-1980 gemiddeld meer dan tweemaal zo veel verdampt als een naburig gebied bedekt met gras (gemiddelde jaarsom van 799 mm voor naaldbos tegen 370 mm voor gras). Dit verschil komt hoofdzakelijk door de hoge interceptiewaarden van naaldbos. *Keijman en Schipper* (1978) vonden voor naaldbos in Castricum een verdamping in de winter die circa 30% van de neerslag bedroeg. Dit is ook voornamelijk interceptie-verdamping.

Verdamping van een droog gewas; transpiratie, (E_t)

De verdamping van een homogeen, uitgestrekt, gewas, dat de bodem volledig bedekt en verder van buiten droog is, wordt voornamelijk bepaald door de transpiratie. Dit is het waterdamptransport via de huidmondjes en cuticula van het bladoppervlak van de planten. De plant is in staat de huidmondjesopening te regelen. Bij voldoende watervoorziening in de wortelzone en voldoende licht zijn de huidmondjes volledig geopend. Treedt daarentegen vochttekort op in de wortelzone, dan zal de plant de huidmondjes geheel of gedeeltelijk sluiten.

Om dit effect te beschrijven wordt het gewas in gedachten vervangen door een plat hypothetisch "gewas", dat dezelfde ruwheid en hetzelfde albedo heeft en waarin zich aan het oppervlak "huidmondjes" bevinden, waarbinnen de lucht verzadigd wordt verondersteld. Aan dit "platgeslagen" gewas wordt gewasweerstand, r_c , ook wel oppervlakteweerstand genoemd, toegekend. Dit is de schijnbare diffusieweerstand voor het transport van waterdamp vanuit de "huidmondjes" van het hypothetisch platgeslagen gewas naar de standaardhoogte van 2 m.

Monteith (1965) en anderen toonden aan dat de transpiratie dan gegeven wordt door:

$$\lambda E_t = \frac{s(Q^* - G) + \rho c_p \{e_s(T_2) - e_2\} / r_a}{s + \gamma(1 + r_c/r_a)} \quad (\text{W} \cdot \text{m}^{-2}) \quad (2.3.24)$$

Deze vergelijking staat bekend als de Penman-Monteith-formule. In een iets andere vorm werd hij afgeleid door Rijtema (1965). Het verschil met vergelijking 2.3.22 voor een nat oppervlak is dat in de noemer γ is vervangen door $\gamma(1 + r_c/r_a)$.

Ook nu is G in de regel verwaarloosbaar klein als het gaat om etmaalgemiddelden. Verder wordt voor korte gewassen r_a benaderd door vergelijking 2.3.23.

De waarde van de gewasweerstand r_c hangt van vele factoren af, die moeilijk te meten zijn zoals bijvoorbeeld de vochtspanning in de wortelzone (Van Bakel, 1981).

Bij voldoende vocht in de bodem is $r_c \approx 60 \text{ s} \cdot \text{m}^{-1}$ voor gras (De Bruin en Holtslag, 1982; Stricker, 1981). Bij uitdroging kan r_c oplopen tot $300 \text{ s} \cdot \text{m}^{-1}$ of hoger. Voor akkerbouwgewassen worden bij goede watervoorziening lagere r_c -waarden gevonden (bijvoorbeeld Nieuwenhuis en Palland (1982) vinden voor aardappelen een $r_c = 30 \text{ s} \cdot \text{m}^{-1}$ bij goede vochtvoorziening).

Kohsiek (1981) ontwikkelde een methode om r_c van gras of andere korte gewassen direct te meten in het veld.

Bossen blijken iets minder gevoelig te zijn voor uitdroging. Vaak wordt gevonden dat r_c toeneemt met het vochtdeficit $\{e_s(T_2) - e_2\}$ vlak boven het bos (Calder, 1977; Stewart en De Bruin, 1984). De waarden van r_c van bossen is in het algemeen hoger dan die van gras. Bij voldoende bodemvocht is $r_c \approx 100 \text{ s} \cdot \text{m}^{-1}$ van een bos.

Belangrijk is op te merken dat alle gewassen een $r_c > 0$ hebben, ook als er voldoende water in de wortelzone aanwezig is. Deze zogenaamde basisgewasweerstand wordt aangeduid als r_b en verschilt per gewas (zie par. III. 2.3.7).

Verdamping van kale grond, (E_s)

Een belangrijke eigenschap van kale grond is, dat, als het bovenste laagje uitdroogt, het capillair geleidingsvermogen daarvan sterk afneemt. Hierdoor wordt de watertoevoer van onderaf belemmerd, waardoor de verdamping wordt gereduceerd. De relatie tussen capillair geleidingsvermogen en vochtgehalte is afhankelijk van de bodemsoort en de wijze waarop de grond is bewerkt. Dit betekent dat de verdamping van kale grond in belangrijke mate bepaald wordt door bodemfysische eigenschappen. Daarnaast is de kale grondverdamping natuurlijk afhankelijk van "het weer" en de grondwaterstand.

Een ander aspect is dat, na uitdroging, het verdampend oppervlak onder maaiveld komt te liggen. Voordat de waterdamp de atmosfeer bereikt, moet deze eerst door de droge toplaag van de bodem diffunderen. Ook hierin verschilt het proces van de verdamping van kale grond van die van een begroeid oppervlak of open water.

Een model voor de verdamping van kale grond wordt gegeven door *Menenti* (1984). Als vuistregel geldt dat natte kale grond ongeveer $0,7 E_0^{\text{MOW}}$ verdampt. Kale grond droogt echter vrij snel uit na neerslag, zodat het percentage van de tijd dat de grond nat is betrekkelijk klein is, zelfs in natte perioden.

Voor de onbegroeide lysimeter te Castricum, die gevuld was met duinzand, bedroeg de gemiddelde verdamping circa 60 mm in het winterhalfjaar (dit is 40% van E_0^{MOW} van Den Helder) en circa 200 mm (dit is 26% van E_0^{MOW} van Den Helder) voor het gehele jaar.

NB: Voor een verklaring van de index E_0^{MOW} zie par. III. 2.3.6).

2.3.6. Berekening van de door het K.N.M.I. verstrekte verdampingscijfers

Berekening op basis van de Penman-formule (E_0^{MOW})

Het K.N.M.I. publiceert sinds 1956 routinematig verdampingscijfers in de Maandoverzichten van het Weer in Nederland (MOW). Tot 1 januari 1971 betrof dit maandsommen van 12 stations en tussen 1 januari 1971 en begin 1980 decadecijfers van 15 stations. Sindsdien werd dit tot 18 stations uitgebreid.

Tot 1 april 1987 vond de berekening van deze verdampingscijfers plaats op basis van de Penman-formule. De berekende cijfers werden vermeld als *verdamping van een vrij wateroppervlak*, E_0 , vaak de *open-waterverdamping* genoemd. Voor de berekening van E_0 werd in principe gebruik gemaakt van vergelijking 2.3.12, waarbij in de netto straling het albedo $r = 0,06$ genomen werd, $G = 0$ gesteld werd en de windfunctie volgens vergelijking 2.3.18 werd gebruikt. Dit laatste geschiedde op advies van Penman (*Kramer*, 1957). Achteraf gezien bleek deze aan de hoge kant voor "echt" water.

In 1956 werden van veel stations de luchttemperatuur en vochtigheid alleen overdag gemeten ($3 \times$). Daarom werd destijds besloten E_0 te berekenen met de overdaggemiddelden van T_2 en e_2 . Dit levert ongeveer 10% hogere E_0 -waarden op vergeleken met het gebruik van 24-uurs-gemiddelden van T_2 en e_2 . Sinds 1971 worden T_2 en e_2 continu waargenomen en werd E_0 in eerste instantie berekend op grond van 24-uurswaarden van T_2 en e_2 , doch deze cijfers werden vervolgens weer "gecorrigeerd", zodat de uitkomst overeenkwam met die welke verkregen zouden zijn als overdaggemiddelden van T_2 en e_2 zouden zijn gebruikt (*De Bruin*, 1979; *Buishand en Velds*, 1980). Dit werd gedaan om een breuk in E_0 -reeksen te voorkomen. De "correctie" die werd toegepast varieert zowel naar plaats als in de tijd en is dus niet voor alle stations gelijk.

De aanduidingen "verdamping van een vrij wateroppervlak" en "openwaterverdamping" hebben veel verwarring gegeven omdat deze suggereren dat met behulp van de E_0 -waarden de verdamping van open water als meren en rivieren goed kan worden bepaald. Dit is echter niet het geval. E_0 is in de eerste plaats een rekengrootheid waarmee de potentiële verdamping van gewassen kan worden geschat (zie par. III. 2.3.7). Met "echt" open water heeft deze rekengrootheid echter betrekkelijk weinig te maken; de term "open-waterverdamping" is daarom misleidend. Bovendien zijn buiten het K.N.M.I. verschillende varianten van de Penman-formule toegepast, hetgeen evenzeer 3e korr., 23-11-'88. HD integrator.

heeft bijgedragen aan de verwarring over het begrip E_0 . Ter onderscheiding van E_0 -waarden verkregen uit andere berekeningswijzen worden de verdampingscijfers vermeld in de Maandoverzichten van het Weer van het K.N.M.I. vaak aangeduid als $E_{0\text{MOW}}$.

Berekening op basis van de Makkink-formule (E_r)

Gezien de bezwaren en de verwarring met betrekking tot de E_0 -waarden is het K.N.M.I. met ingang van 1 april 1987 overgestapt op de verdampingsberekening volgens de formule van Makkink.

Makkink (1960) vond een goede correlatie tussen E_0 en de term $s/(s + \gamma)K\downarrow$ en leidde op basis hiervan een eenvoudige formule af:

$$\lambda E_{\text{gras}} = C_1 \cdot \frac{s}{s + \gamma} K\downarrow + C_2 \quad (\text{W} \cdot \text{m}^{-2}) \quad (2.3.25)$$

waarin C_1 en C_2 constanten zijn.

De hiermee berekende verdampingscijfers worden aangeduid als de *referentiegewasverdamping*, E_r .

De Bruin (1981) vond voor $C_1 \approx 0,65$ en voor $C_2 \approx 0$. Deze waarden betreffen kort gras. Vergelijking 2.3.25 kan hiermee als volgt worden herschreven:

$$\lambda E_r = 0,65 \cdot \frac{s}{s + \gamma} K\downarrow \quad (\text{W} \cdot \text{m}^{-2}) \quad (2.3.26)$$

De methode van Makkink heeft als groot voordeel dat deze alleen $K\downarrow$ en de temperatuur (voor s) nodig heeft. Deze kunnen direct worden gemeten.

De verdamping van een goed van water voorzien gewas wordt in hoofdzaak bepaald door de beschikbare stralingsenergie. Factoren als windsnelheid en luchtvochtigheid spelen slechts een geringe rol.

De Makkink-formule heeft hierdoor een redelijk goede fysische basis (Hooghart, 1987).

De uitkomsten van de Makkink-formule en van de Penman-formule zijn door De Bruin (1987) met elkaar vergeleken. Hieruit blijkt dat de empirische Makkink-formule voor een schatting van de gewasverdamping dezelfde of betere resultaten geeft dan de Penman-formule.

Feddes (1987) berekende per decade voor het zomerhalfjaar de gemiddelde verhouding $E_{0\text{MOW}}/E_r$ op basis van de gegevens van de waarnemingsstations De Bilt, Eelde en Beek over de periode 1965-1985. De resultaten zijn weergegeven in tabel 2.3.5.

Tabel 2.3.5. De verhouding E_o^{MOW}/E_r per decade voor het zomerhalfjaar als gemiddelde over de periode 1965-1985 voor de stations De Bilt, Eelde en Beek (Feddes, 1987).

Maand	Decade	E_o^{MOW}/E_r	Maand	Decade	E_o^{MOW}/E_r
april	1	1,30	juli	1	1,29
	2	1,30		2	1,27
	3	1,30		3	1,24
mei	1	1,30	augustus	1	1,21
	2	1,30		2	1,19
	3	1,30		3	1,18
juni	1	1,31	september	1	1,17
	2	1,31		2	1,17
	3	1,31		3	1,17

2.3.7. Potentiële verdamping (evapotranspiratie, E_p)

Inleiding

Voor bepaalde problemen wil men weten hoe groot de verdamping zou zijn, indien er geen vochttekort in de wortelzone optreedt.

Dit is bijvoorbeeld het geval bij irrigatieprojecten en vochttekort berekeningen. Hiertoe wordt het begrip *potentiële verdamping* ingevoerd.

Dit is de theoretische verdamping (transpiratie en bodemevaporatie) van een begroeid oppervlak, dat van buiten droog is en goed van water is voorzien.

Voor gewassen die de bodem totaal bedekken is de bodemevaporatie klein en heeft de potentiële verdamping hoofdzakelijk betrekking op transpiratie.

Over het begrip potentiële verdamping bestaat nogal eens onduidelijkheid. Soms heeft het begrip betrekking op het werkelijk aanwezige gewas, en in andere gevallen op een hypothetisch referentiegewas (meestal gras). Bovendien betrekken sommige auteurs de interceptie bij de potentiële verdamping. Vanwege deze begripsverwarring vermijden sommigen de term potentiële verdamping, zoals bijvoorbeeld *Doorenbos en Pruitt* (1977), die de begrippen *crop water requirement* en *reference crop evapotranspiration* invoeren. In het navolgende wordt het begrip potentiële verdamping gehanteerd, waarbij echter wordt vermeld op welk gewas dit betrekking heeft. In de meeste gevallen zal dat gras zijn.

Er bestaan verschillende methoden voor het schatten van de potentiële verdamping. Enkele worden in het volgende behandeld.

Verdampingspan

Bij deze methode wordt gebruik gemaakt van een open bak die van tijd tot tijd tot een bepaald niveau met water wordt gevuld. Door tevens de neerslag te meten kan het verlies door verdamping berekend worden. Door deze met een factor te vermenigvuldigen verkrijgt men een schatting van de potentiële evapotranspiratie.

De verdamping uit een pan kan sterk verschillen van de verdamping van zijn omgeving.

Bovendien blijken verschillende verdampingsspannen grote onderlinge verschillen in meetuitkomsten te geven. Zo vond *Braak* (1936) bij verdampingsbakken verschillen van meer dan een factor twee voor de gemiddelde verdamping op sommige plaatsen.

De potentiële verdamping volgens de Penman-Monteith vergelijking

Uit het voorgaande blijkt, dat E_p van een bepaald gewas kan worden bepaald door in de Penman-Monteith vergelijking r_c gelijk te stellen aan de basisweerstand r_b , dat is de waarde die r_c heeft bij optimale vochtvoorziening in de bodem, dus:

$$\lambda E_p = \frac{s(Q^* - G) + \rho c_p \{e_s(T_2) - e_2\} / r_a}{s + \gamma (1 + r_b/r_a)} \quad (\text{W} \cdot \text{m}^{-2}) \quad (2.3.27)$$

Deze formule is gebaseerd op een redelijk fysisch model.

Merk op dat $r_b \approx 60 \text{ s} \cdot \text{m}^{-1}$ voor gras,

$r_b \approx 30\text{--}40 \text{ s} \cdot \text{m}^{-1}$ voor aardappelen, suikerbieten en granen

en $r_b \approx 100 \text{ s} \cdot \text{m}^{-1}$ voor een naaldbos.

De potentiële verdamping volgens de gewasfactormethode

Voor praktische berekeningen is de Penman-Monteith formule vaak te ingewikkeld. Daarom wordt in de praktijk een meer empirische aanpak gevolgd, namelijk de gewasfactormethode. Hierbij worden de weer- en gewasfactoren, die beide E_p bepalen, gescheiden; E_p wordt gelijk gesteld aan:

$$E_p = k_c \cdot E_{\text{ref}} \quad (\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}) \quad (2.3.28)$$

waarin:

k_c = een empirische gewasfactor (-)

E_{ref} = de potentiële verdamping van een referentie-oppervlak ($\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$)

Voor irrigatiedoeleinden wordt als referentie oppervlak meestal gras van 10 cm hoogte genomen (*Doorenbos en Pruitt, 1977*).

Het praktische voordeel van vergelijking 2.3.28 is dat E_{ref} alleen van "het weer" afhangt en daardoor centraal kan worden berekend. De gebruiker hoeft vervolgens E_{ref} alleen nog maar te vermenigvuldigen met de relevante gewasfactor.

De gewasfactor op basis van de open-waterverdamping, E_o (Penman)

Penman (1948) stelde voor de potentiële verdamping van standaardgras te schatten met:

$$E_{\text{gras}} = g \cdot E_o \quad (\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}) \quad (2.3.29)$$

waarin:

g = een andere gewasfactor (niet te verwarren met k_c)

E_o = de zogenaamde open-waterverdamping ($\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$)

Deze laatste is de verdamping van een hypothetisch ondiep, uitgestrekt wateroppervlak, dat is blootgesteld aan het heersende weer.

Onder Nederlandse omstandigheden wordt voor het groeiseizoen vaak $g = 0,8$ gebruikt. Deze waarde is onder andere toegepast door *De Bruin* (1979) en *Buishand en Velds* (1980). *Stricker* (1981) berekende voor een grasland in het stroomgebied van de Hupselse Beek (Gelderland) een waarde voor g van 0,75.

Combinatie van de vergelijkingen 2.3.28 en 2.3.29 leidt tot:

$$E_p = f \cdot E_o \qquad (\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}) \qquad (2.3.30)$$

waarin:

$$f = k_c \cdot g$$

Voor de schatting van E_p van begroeide oppervlakken wordt vergelijking 2.3.30 in Nederland vrij algemeen toegepast. Voor het schatten van de verdamping in het winterseizoen is deze methode minder betrouwbaar.

Bij toepassing van vergelijking 2.3.30 is het van belang te weten op welke wijze de te hanteren waarden voor E_o berekend zijn. Als gevolg van verschillen in berekeningwijze van E_o (zie par. III. 2.3.6) zijn de f -waarden niet eenduidig.

In tabel 2.3.6 zijn voor een aantal gewassen f -waarden gegeven welke betrekking hebben op de verdampingscijfers die tot 1 april 1987 werden vermeld in de Maandoverzichten van het Weer van het K.N.M.I. (E_o^{MOW}).

Tabel 2.3.6. De f -waarden per decade voor een aantal gewassen. De f -waarden behoren bij de openwaterverdamping zoals tot 1 april 1987 gepubliceerd door het K.N.M.I. in het Maandoverzicht van het Weer (E_o^{MOW}). (Ontleend aan *Projectgroep Grevelingen zout/zoet*, 1982).

Maand	april			mei			juni			juli			augustus			september		
decade	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
gras	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
granen	0,5	0,6	0,7	0,8	0,8	0,8	0,9	0,9	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	-	-	-	-	-
maïs ¹⁾	-	-	-	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
aardappelen	-	-	-	-	0,5	0,7	0,8	0,8	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,7	0,7	0,6	-	-
suikerbieten	-	-	-	0,4	0,4	0,4	0,6	0,8	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
peulvruchten	-	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	0,9	0,9	0,8	0,6	-	-	-	-	-	-	-
plantuien 2e jr.	0,4	0,5	0,5	0,6	0,6	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	-	-	-	-	-
zaaiuien	-	0,3	0,4	0,4	0,5	0,5	0,6	0,6	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,6	-	-
witlof	-	-	-	-	-	-	0,4	0,4	0,4	0,6	0,8	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
winterpeen	-	-	-	-	-	-	0,4	0,4	0,4	0,6	0,8	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
knolselderij	-	-	-	-	-	0,4	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,7	0,8	0,9	0,9	0,9	0,9	-
prei	-	-	-	-	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,6	0,6	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
bol en knolgewassen	-	-	-	-	0,4	0,5	0,5	0,7	0,9	0,9	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
pit- en steenvruchten	0,8	0,8	0,8	1,1	1,1	1,1	1,2	1,2	1,2	1,3	1,3	1,3	1,1	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0

¹⁾Ontleend aan *Verheijen en Steenvoorden* (1981).
3e korr., 18-11-'88. HD integrator.

De gewasfactor op basis van de referentie-gewasverdamping, E_r (Makkink)

Sinds 1 april 1987 worden door het K.N.M.I. routinematig verdampingscijfers gepubliceerd gebaseerd op de Makkink-formule (zie par. III. 2.3.6). De hiermee (vergelijking 2.3.26) berekende verdampingscijfers gelden voor een goed van water voorzien kort grasgewas. Voor de winterperiode zijn de waarden van E_r (evenals de E_o -waarden) minder betrouwbaar.

Analoog aan vergelijking 2.3.30 kan de potentiële verdamping van een gewas worden geschat met:

$$E_p = f \cdot E_r \quad (\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}) \quad (2.3.31)$$

Op basis van de in tabel 2.3.6 gegeven gewasfactoren geldend voor E_o^{MOW} en de in tabel 2.3.5 gegeven verhouding E_o^{MOW}/E_r , berekende Feddes (1987) een "nieuwe" reeks gewasfactoren geldend voor E_r . De resultaten zijn vermeld in tabel 2.3.7.

Tabel 2.3.7. Gewasfactoren f per decade voor een aantal gewassen gerelateerd aan de referentie-gewasverdamping, E_r . (ontleend aan Feddes, 1987)

Maand	april			mei			juni			juli			augustus			september		
decade	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
gras	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,9	0,9	0,9	0,9
granen	0,7	0,8	0,9	1,0	1,0	1,0	1,2	1,2	1,2	1,0	0,9	0,8	0,6	-	-	-	-	-
mais	-	-	-	0,5	0,7	0,8	0,9	1,0	1,2	1,3	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
aardappelen	-	-	-	-	0,7	0,9	1,0	1,2	1,2	1,2	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	0,7	-	-
suikerbieten	-	-	-	0,5	0,5	0,5	0,8	1,0	1,0	1,2	1,1	1,1	1,1	1,2	1,2	1,2	1,1	1,1
peulvruchten	-	0,5	0,7	0,8	0,9	1,0	1,2	1,2	1,2	1,0	0,8	-	-	-	-	-	-	-
plantuinen	0,5	0,7	0,7	0,8	0,8	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	-	-	-	-	-
zaaiui	-	0,4	0,5	0,5	0,7	0,7	0,8	0,8	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,9	0,7	-	-
witlof	-	-	-	-	-	-	0,5	0,5	0,5	0,8	1,0	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
winterpeen	-	-	-	-	-	-	0,5	0,5	0,5	0,8	1,0	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
knolselderij	-	-	-	-	-	0,5	0,7	0,7	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	-
prei	-	-	-	-	0,5	0,5	0,5	0,5	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	1,0	0,9	0,9	0,9	0,9
bol/																		
knolgewassen	-	-	-	-	0,5	0,7	0,7	0,9	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
pit/																		
steenvruchten	1,0	1,0	1,0	1,4	1,4	1,4	1,6	1,6	1,6	1,7	1,7	1,7	1,3	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2
volgroeid)																		

Bij het gebruik van de gewasfactoren (zowel op basis E_o^{MOW} als op basis van E_r) dient bedacht te worden dat hiermee slechts een globale schatting van de gewasverdamping in het zomerhalfjaar wordt verkregen. Voor een nauwkeurige schatting van de gewasverdamping of van de verdamping vanuit oppervlaktewater zijn meer geavanceerde methoden noodzakelijk, waarbij naast de meteorologische grootheden ook de eigenschappen van het desbetreffende land- of wateroppervlak moeten worden betrokken.

Andere methoden voor het schatten van de potentiële verdamping van gras, E_{gras}

De Makkink-formule (2.3.26) geeft een schatting van de potentiële verdamping van "standaard" gras. Er bestaat een aantal alternatieven voor het schatten van E_{gras} , zoals de Priestley-Taylor-formule en de formule van Thom en Oliver.

De Priestley-Taylor formule is reeds besproken in par. III. 2.3.4. In droge jaren blijkt deze formule (vergelijking 2.3.19) wat lagere waarden te geven dan bijvoorbeeld $0,8 E_0^{\text{MOW}}$ (De Bruin, 1981).

Thom en Oliver (1977) stellen voor om voor gras de term r_c/r_a in de Penman-Monteith-vergelijking (vergelijking 2.3.24) constant te veronderstellen en wel gelijk aan 1,4. Deze waarde blijkt gemiddeld te gelden onder normale omstandigheden in Engeland. De warmteopslagterm G wordt verwaarloosd. Dit leidt uiteindelijk tot:

$$\lambda E_{\text{gras}} = \frac{sQ^* + \rho c_p \{e_s(T_2) - e_2\} / r_a}{s + 2,4 \gamma} \quad (\text{W} \cdot \text{m}^{-2}) \quad (2.3.32)$$

waarin r_a wordt gegeven door vergelijking 2.3.23.

Doorenbos en Pruitt (1977) bevelen aan E_{gras} met een variant van de Penmanformule te berekenen. Hierin wordt de nettostraling van gras toegepast, $G = 0$ gesteld, doch een windfunctie gebruikt die hoort bij een zeer glad oppervlak ($z_0 \approx 1,4$ mm, zie Thom en Oliver, 1977). Deze is voor gras te laag, maar dit wordt gecompenseerd door de gewasweerstand $r_c = 0$ te veronderstellen. Deze methode is ook jarenlang in zwang geweest in ondermeer Groot-Brittanië

Enkele opmerkingen met betrekking tot het concept "potentiële verdamping"

Bij het concept van de potentiële verdamping moeten enkele kanttekeningen worden geplaatst.

Onder zeer droge omstandigheden zoals die zich bijvoorbeeld in het droge seizoen in sommige tropische of sub-tropische gebieden voordoen, is het twijfelachtig of het concept potentiële verdamping wel toepasbaar is. Er wordt namelijk gerefereerd naar een hypothetische situatie waarbij voldoende water in de wortelzone beschikbaar is en de heersende weersomstandigheden onveranderd blijven door het verdampingsproces. Op het moment echter dat men daadwerkelijk voldoende water gaat toevoeren, bijvoorbeeld door irrigatie, wijzigen de heersende omstandigheden zich drastisch. De oppervlakte- en de luchttemperatuur zullen dalen en de luchtvochtigheid zal stijgen. Dit heeft invloed op de nettostraling Q^* en het vochtdeficit $e_s(T_2) - e_2$ en daarmee op de uitkomst van de potentiële verdampingsberekening.

Een ander effect dat vooral in droge gebieden een rol speelt is advection. Dit treedt onder meer op als men een klein gebied irrigeert of beregent. Hierover strijkt dan warme droge lucht uit de omgeving, die onderin zal afkoelen; er wordt dus warmte uit onttrokken. Op zo'n manier wordt horizontale warmte geadvecteerd. Dit effect wordt niet of slechts ten

dele door vergelijking 2.3.27 beschreven, terwijl het bij irrigatie of beregening een grote rol kan spelen.

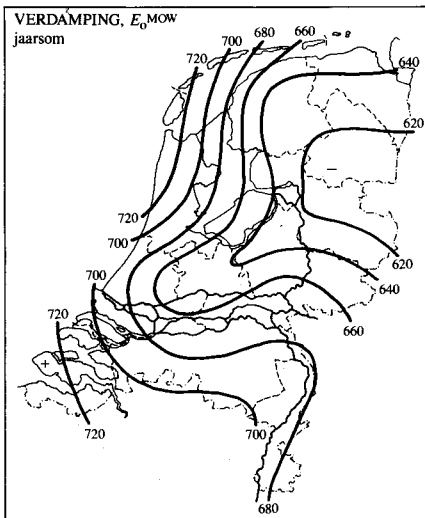
Indien bij de schatting van de potentiële verdamping de interceptie-verdamping mee in beschouwing is genomen, leidt dit tot hogere waarden voor E_p .

Bij het gebruik van E_p -waarden in bijvoorbeeld de berekening van potentiële gewasproducties (par. III. 4.4.3) is het daarom van belang na te gaan op welke wijze E_p is berekend.

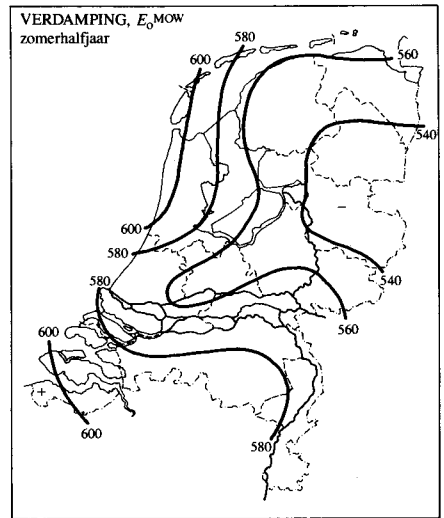
Bij grote sapstromen in de plant (dus bij hoge transpiratie) gaan sommige planten de huidmondjes sluiten, ook bij een goede watervoorziening. Dit betekent dat de basisweerstand r_b van E_t zelf afhangt. Als gevolg hiervan kunnen in Nederland voor E_p niet veel hogere waarden bereikt worden dan 5 à 6 mm per dag.

2.3.8. Verdeling van E_o^{MOW} naar plaats en in de tijd

De grootte van de open-watervedamping vertoont een duidelijke samenhang met de afstand tot de kust (fig. 2.3.6 en fig. 2.3.7). Door de hogere windsnelheid en de langere zonnenschijnduur zijn de waarden van E_o^{MOW} in de kustgebieden hoger dan meer landinwaarts. De absolute verschillen zijn het grootst in het zomer halfjaar. Procentueel zijn de verschillen echter het grootst in het winterhalfjaar.



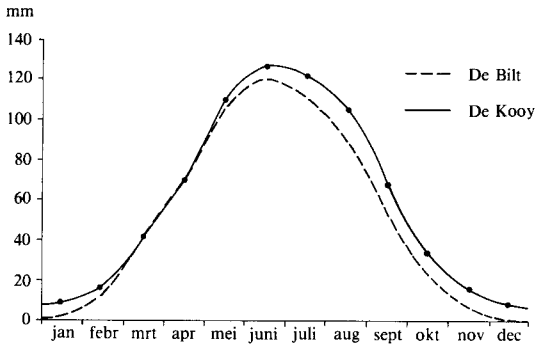
Figuur 2.3.6.
Gemiddelde jaarsom van de verdamping (E_o^{MOW}) berekend voor het tijdvak 1951-1980.



Figuur 2.3.7.
Gemiddelde som van de verdamping (E_o^{MOW}) voor het zomerhalfjaar berekend voor het tijdvak 1951-1980.

De open-waterverdamping vertoont een zeer sterke seizoensmatige fluctuatie. In de wintermaanden bedraagt de open-waterverdamping slechts enkele milimeters, terwijl in de zomermaanden gemiddelde waarden van 100 à 120 mm worden bereikt. Hierbij dient te worden opgemerkt dat de schatting van de verdamping op basis van het concept E_o^{MOW} voor het winterhalfjaar minder betrouwbare resultaten oplevert.

In figuur 2.3.8 is voor een kuststation en voor een meer landinwaarts gelegen station het verloop (de jaarlijkse gang) van de gemiddelde waarde (de normaalwaarde) van de open-waterverdamping weergegeven.



Figuur 2.3.8. De jaarlijkse gang van de open waterverdamping berekend volgens Penman (E_o^{MOW}) voor een kuststation (De Kooy) en een landstation (De Bilt). De curven geven de maandgemiddelden voor het tijdvak 1951-1980.

2.4. Neerslagtekort en neerslagoverschot

2.4.1. Begrippen

De onderstaande begrippen zijn ontleend aan de "Verklarende hydrologische woordenlijst" (*Commissie voor Hydrologisch Onderzoek TNO*, 1986).

Nr.	Term	Omschrijving	Gangbare eenheid	Dimensie	Symbool
1a	potentieel neerslagtekort	Het verschil tussen de potentiële evapotranspiratie en de netto neerslag: $E_p - P_n$	mm · d ⁻¹	L ⁻² MT ⁻¹	-
1b	potentieel neerslagoverschot	Het verschil tussen de netto neerslag en de potentiële evapotranspiratie: $P_n - E_p$	mm · d ⁻¹	L ⁻² MT ⁻¹	-
2a	neerslagtekort	Het verschil tussen de werkelijke evapotranspiratie en de netto neerslag: $E - P_n$	mm · d ⁻¹	L ⁻² MT ⁻¹	-
2b	neerslagoverschot	Het verschil tussen de netto neerslag en de werkelijke evapotranspiratie: $P_n - E$	mm · d ⁻¹	L ⁻² MT ⁻¹	-

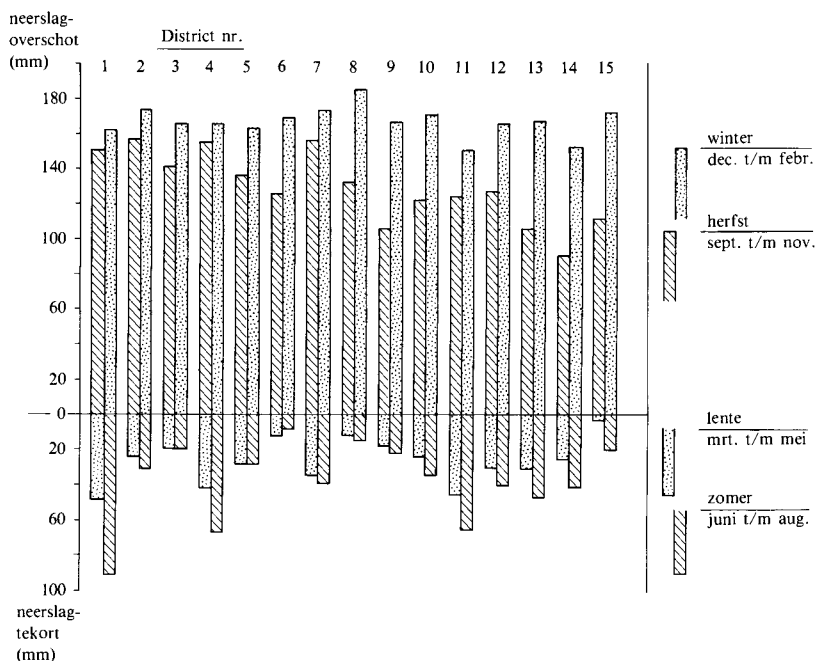
N.B. In de praktijk wordt potentiële evapotranspiratie vaakgesteld aan $0,8 E_0^{\text{MOW}}$, terwijl voor de neerslag wordt uitgegaan van de bruto neerslag, P . Het potentieel neerslagtekort (verdampingsoverschot) wordt dan berekend als $0,8 E_0^{\text{MOW}} - P$.

2.4.2. Verdeling van het neerslagoverschot (-tekort) naar plaats en in de tijd

In figuur 2.4.1 is per district het gemiddelde potentieel neerslagoverschot c.q. neerslagtekort (hier gedefinieerd als $P - 0,8 E_0^{\text{MOW}}$ respectievelijk $0,8 E_0^{\text{MOW}} - P$) per seizoen over de periode 1951-1980 weergegeven.

Door de geringe verdamping is er in de herfst en winter een neerslagoverschot. In het najaar is het verschil in gemiddelde neerslaghoeveelheid tussen de kust en het binnenland groter dan het verschil in de gemiddelde potentiële evapotranspiratie ($0,8 E_0^{\text{MOW}}$) tussen de kust en het binnenland. Als gevolg hiervan is in de kustgebieden (met name de districten 1, 2, 3, 4, en 7, het neerslagoverschot in de herfst aanzienlijk groter dan meer landinwaarts (districten 6, 8, 9, 10, 13, 14 en 15). In de winter zijn er geen duidelijke systematische verschillen.

In het voorjaar en de zomer treedt er in alle districten een potentieel neerslagtekort (verdampingsoverschot) op. In de kustgebieden is het tekort aanzienlijk groter dan in het midden, het oosten en het zuiden van het land. Dit wordt enerzijds veroorzaakt door de grotere verdamping in de kustgebieden en anderzijds door de geringere neerslaghoeveelheid. Buiten de kustgebieden valt de grootste neerslaghoeveelheid meestal in de maanden juli en augustus. Als gevolg hiervan is het potentieel neerslagtekort in de zomer, ondanks de grotere potentiële verdamping, in de meer landinwaarts gelegen gebieden niet of nauwelijks groter dan in de lente.



Figuur 2.4.1. Gemiddeld potentieel neerslagoverschot ($P - 0,8 E_o^{MOW}$) en neerslagtekort ($0,8 E_o^{MOW} - P$) in mm per seizoen per district over het tijdvak 1951-1980.

2.5. Frequentieverdelingen en procentpunten¹ van de neerslag, verdamping en neerslagoverschot (-tekort)

Een methode om snel een indruk te krijgen van de variabiliteit van een meteorologische grootheid is het maken van frequentieverdelingen. Voor het verkrijgen van een indruk van met name de verdeling van neerslagtekorten tijdens het groeiseizoen of van neerslagoverschotten tijdens het winterseizoen wordt veelal gebruik gemaakt van frequentieverdelingen van het cumulatieve potentiële neerslagtekort respectievelijk cumulatieve neerslag-sommen vanaf een bepaalde datum.

¹ Synoniemen zijn: percentielen, kwantielen.

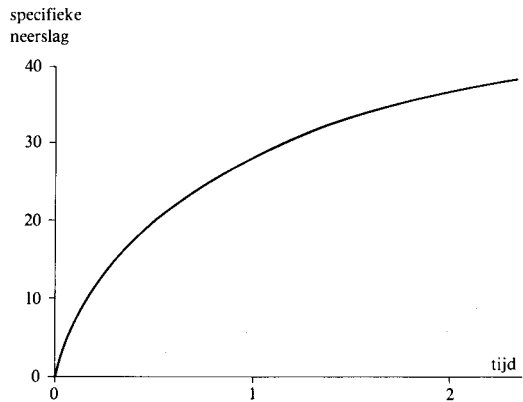
2.5.1. Begrippen

De onderstaande begrippen zijn ontleend aan de "Verklarende hydrologische woordenlijst" (*Commissie voor Hydrologisch Onderzoek TNO*, 1986).

Nr.	Term	Omschrijving	Gangbare eenheid	Dimensie	Symbool
1	normaalwaarde	De gemiddelde waarde van een meteorologische grootte over het meest recente 30-jarige tijdvak beginnend met een jaar dat eindigt op een 1 (bv. 1951/m 1980).	-	-	-
2a	k-daagse som	De waarde van een of andere grootte (bv. verdamping, neerslag) te verkrijgen door sommatie over een periode van k opeenvolgende dagen.	mm	$L^{-2} M$	-
2b	k-minuut som	De waarde van een of andere grootte (meestal neerslag) te verkrijgen door sommatie over een periode van k opeenvolgende minuten.	mm	$L^{-2} M$	-
3a	n% droog jaar	Een jaar met een verdamping (of neerslagtekort) over een nader aan te geven periode (bv. groeiseizoen van een bepaalde lengte met een bepaalde begindatum) die gemiddeld n maal per 100 jaren wordt overschreden. Een n% droog jaar is gelijk aan een $(100 - n)\%$ nat jaar. Een 1% droog jaar is dus zeer droog.	-	-	-
3b	n% nat jaar	Een jaar met een specifieke neerslag (of neerslagoverschot) over een nader aan te geven periode (bv. groeiseizoen van een bepaalde lengte met een bepaalde begindatum) die gemiddeld n maal per 100 jaren wordt overschreden. Een n% nat jaar is gelijk aan een $(100 - n)\%$ droog jaar. Een 1% nat jaar is dus zeer nat.	-	-	-
4	regenduurlijn	Grafische weergave van de specifieke neerslag die valt in een periode van een bepaalde duur en die met een bepaalde frequentie wordt overschreden (zie figuur 2.5.1). De regenduurlijn is afhankelijk van de gekozen overschrijdingsfrequentie.	-	-	-

Volgens de hiervoor gegeven omschrijving uit de "Verklarende hydrologische woordenlijst" zou men van een n% *droog* jaar of een n% *nat* jaar moeten spreken. Uit een oogpunt van statistiek is deze terminologie eigenlijk onjuist en op zijn minst ongelukkig. In het navolgende wordt de toevoeging droog of nat veelal achterwege gelaten.

Figuur 2.5.1.
*Regenduurlijn voor een bepaalde
overschrijdingsfrequentie.*



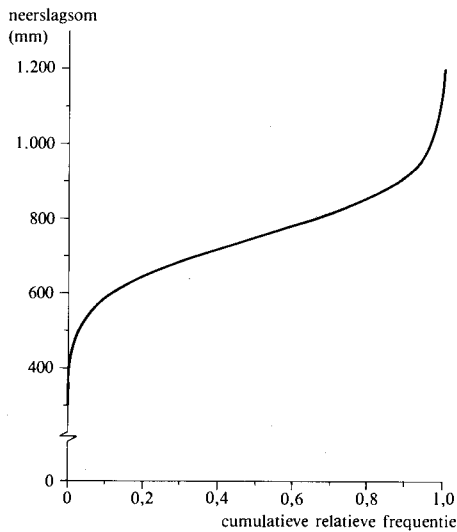
2.5.2. Frequentieverdeling en procentpunten van neerslagsommen

In figuur 2.5.2 is de cumulatieve relatieve frequentiecurve van de jaarsommen van de neerslag te De Bilt gegeven. De jaarsommen zijn bij benadering normaal verdeeld. Dit geldt algemeen voor jaarsommen van de neerslag in Nederland. De voor de jaarsommen te De Bilt berekende standaardafwijking s , bedraagt 132 mm. De variatiecoëfficiënt, c_v , van de jaarsom kan worden berekend door deling van de standaardafwijking door de gemiddelde jaarsom:

$$c_v = s/\bar{x}$$

(2.5.1)

Figuur 2.5.2.
*Cumulatieve relatieve frequenties van
jaarsommen van de neerslag te De Bilt
over het tijdvak 1897-1983.*



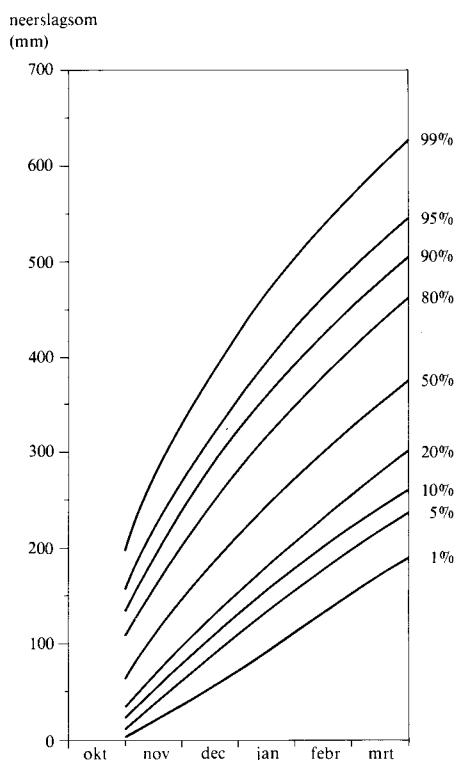
De waarde van de variatiecoëfficiënt voor De Bilt bedraagt $\approx 0,17$. Dit getal geldt ruwweg voor alle gebieden in Nederland.

Voorbeeld

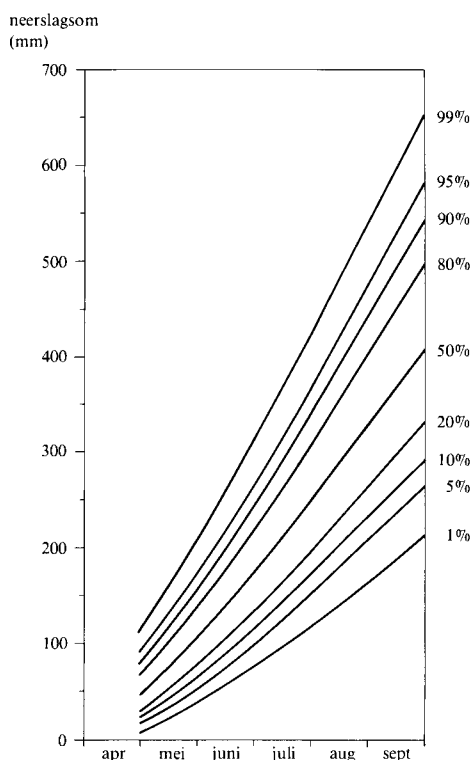
Stel dat men een punt heeft waarvoor de gemiddelde jaarsom 900 mm bedraagt. De standaardafwijking voor dit punt bedraagt dan $s = 0,17 \times 900 = 153$ mm. Op grond van de normale verdeling komt men tot de conclusie dat 95% van de jaarsommen gelegen is tussen $900 - 2 \times 153 = 594$ mm en $900 + 2 \times 153 = 1206$ mm. Op deze wijze kan men voor alle plaatsen in Nederland uitspraken doen over de kansverdeling voor de jaarsommen.

Voor kortere tijdsduren (maand, dag) is de kansverdeling van de neerslagsommen niet symmetrisch. De scheefheid neemt toe naarmate het tijdsinterval waarop de neerslagsom betrekking heeft korter wordt.

In de figuren 2.5.3 en 2.5.4 zijn lijnen van gelijke cumulatieve frequentie gegeven van de totale neerslaghoeveelheid in De Bilt, gerekend vanaf 1 oktober tot 1 april en vanaf 1 april tot 1 oktober.



Figuur 2.5.3.
Lijnen van gelijke cumulatieve frequentie van de totale neerslaghoeveelheid in De Bilt, gerekend vanaf 1 oktober tot 1 april.



Figuur 2.5.4.
Lijnen van gelijke cumulatieve frequentie van de totale neerslaghoeveelheid in De Bilt gerekend vanaf 1 april tot 1 oktober

Uit figuur 2.5.3 leest men bijvoorbeeld af dat het 95%-punt van de neerslagsom in het tijdvak 1 oktober-31 januari ongeveer 430 mm bedraagt. Dit is de neerslaghoeveelheid die voor dat tijdvak gemiddeld in $100 - 95 = 5\%$ van de jaren ofwel eens in de 20 jaar wordt overschreden.

De neerslagsom bij een bepaalde frequentie is bij benadering evenredig met de normaalwaarden van de neerslag voor het zomerhalfjaar c.q. het winterhalfjaar. Voor andere plaatsen dan De Bilt kan men de neerslagsom bij een bepaalde frequentie globaal benaderen door de waarden uit figuur 2.5.3 c.q. 2.5.4 te vermenigvuldigen met de verhouding tussen de normaalwaarde van de betreffende plaats en die van De Bilt.

De normalen zijn gegeven in figuur 2.2.5 voor het zomerhalfjaar en in figuur 2.2.6 voor het winterhalfjaar. Voor de duidelijkheid wordt hier vermeld dat de normalen voor De Bilt respectievelijk 406 mm (zomerhalfjaar) en 390 mm (winterhalfjaar) bedragen.

Door *De Bruin* (1979) zijn voor de waarnemingsreeksen van Den Helder, De Bilt, Winterswijk, Oudenbosch, Gemert en Avereest procentpunten gegeven van cumulatieve neerslaghoeveelheden, potentiële verdampingssommen en potentiële neerslagtekorten over perioden vanaf 1 april, 1 mei, 1 juni en 1 juli tot 1 oktober (zie par. III. 2.7.4).

2.5.3. Frequentieverdeling en procentpunten van de potentiële verdamping

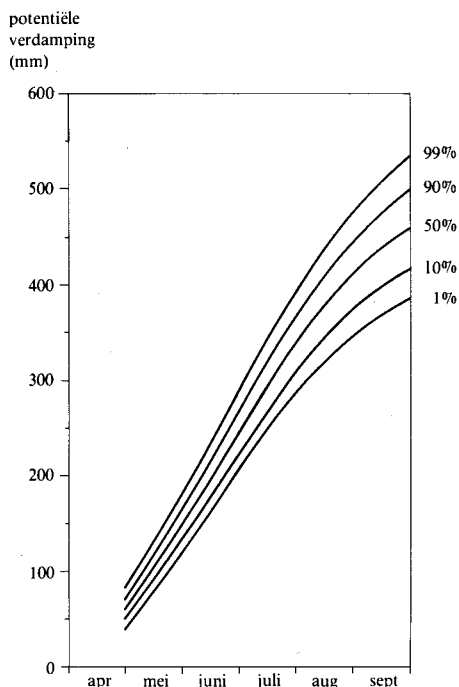
In figuur 2.5.5 zijn lijnen van gelijke cumulatieve frequentie gegeven van de potentiële verdamping ($0,8 E_0^{\text{MOW}}$) te De Bilt gerekend vanaf 1 april tot 1 oktober. De potentiële verdamping vertoont veel minder spreiding dan de neerslag (vergelijk met figuur 2.5.4).

Uit een onderlinge vergelijking van de door *De Bruin* (1979) gegeven procentpunten van de cumulatieve verdampingssommen (E_0^{MOW}) over het zomerhalfjaar voor een zestal waarnemingsstations blijkt dat de relatieve verschillen in cumulatieve verdamping voor de verschillende procentpunten vrijwel constant zijn. Procentpunten van de cumulatieve potentiële verdamping voor andere plaatsen dan De Bilt kunnen derhalve globaal worden berekend door de voor De Bilt geldende waarden (fig. 2.5.5) te vermenigvuldigen met de verhouding tussen de normaalwaarden voor de potentiële verdamping van de betreffende plaats en van De Bilt.

De normalen van E_0^{MOW} voor het zomerhalfjaar zijn gegeven in figuur 2.3.7. Vermenigvuldiging met 0,8 levert de normalen voor de potentiële verdamping. Voor De Bilt bedraagt de normaalwaarde van E_p voor het zomerhalfjaar $0,8 \times 552 = 442$ mm.

Voor kuststations leidt de hiervoor beschreven benadering tot enigszins te hoge waarden voor de potentiële verdamping, met name over deelperioden in de eerste helft van het zomerhalfjaar. Dit wordt veroorzaakt doordat de grotere verdampingssom in kustgebieden grotendeels wordt opgebouwd in de maanden juli, augustus en september. In de maanden april, mei en juni zijn de verschillen ten opzichte van De Bilt slechts gering (enkele procenten).

Figuur 2.5.5.
Lijnen van gelijke cumulatieve frequentie van de potentiële verdamping in De Bilt, gerekend vanaf 1 april tot 1 oktober.



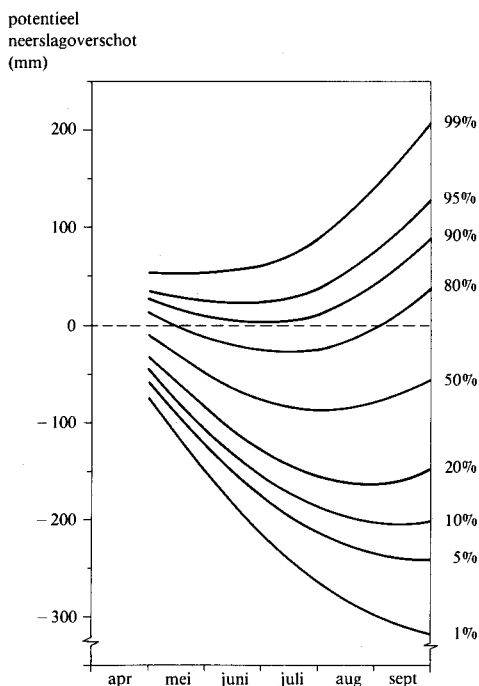
2.5.4. Frequentieverdeling en procentpunten van het potentiële neerslagoverschot

In figuur 2.5.6 zijn lijnen van gelijke cumulatieve frequentie gegeven van het potentiële neerslagoverschot vanaf 1 april tot 1 oktober voor De Bilt.

Uit figuur 2.5.6 blijkt dat in natte zomerhalfjaren er op 1 oktober een potentieel neerslagoverschot is. In normale en droge zomerhalfjaren is er op deze datum altijd nog een potentieel neerslagtekort. De 50%-lijn bereikt zijn minimumwaarde omstreeks 1 augustus. Daar het 50%-punt vrijwel overeenkomt met het gemiddelde, houdt dit in dat in De Bilt na deze datum de gemiddelde neerslag groter wordt dan de gemiddelde potentiële verdamping.

Bij het potentieel neerslagoverschot bestaat geen vaste verhouding tussen de procentpunten van De Bilt en de overeenkomstige procentpunten van andere plaatsen. De procentpunten van andere plaatsen kunnen daarom niet zonder meer uit die van De Bilt worden afgeleid. Hoewel er een negatieve correlatie bestaat tussen potentiële verdamping en de neerslaghoeveelheid, mag men niet het 10%-punt van het potentiële neerslagoverschot gelijkstellen aan het verschil tussen het 10%-punt van de neerslag en het 90%-punt van de potentiële verdamping. Men krijgt dan in droge jaren een te lage waarde en in natte jaren een te hoge waarde voor het potentiële neerslagoverschot.

Figuur 2.5.6.
Lijnen van gelijke cumulatieve frequentie van het potentiële neerslagoverschot in De Bilt, gerekend vanaf 1 april tot 1 oktober.

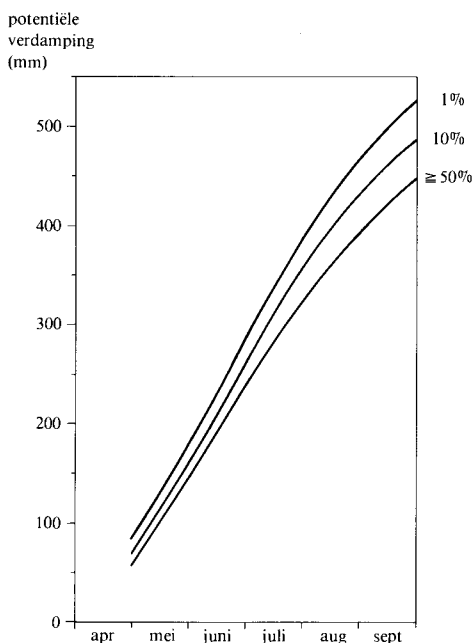


Buishand en Velds (1980) geven een procedure aan om uit de gegevens van De Bilt de procentpunten van het potentieel neerslagoverschot voor andere plaatsen af te leiden. De potentiële verdamping wordt hierbij gerelateerd aan de procentpunten van de neerslag (fig. 2.5.7). De waarden voor de potentiële verdamping in figuur 2.5.7 zijn verkregen door de neerslagsom bij bepaalde procentpunten (fig. 2.5.4) te verminderen met het potentieel neerslagoverschot bij overeenkomstige procentpunten (fig. 2.5.6). Figuur 2.5.7 geeft het resultaat van deze bewerking voor De Bilt. De waarden van de potentiële verdamping bij bepaalde procentpunten van de neerslag voor andere plaatsen dan De Bilt kunnen worden benaderd door de in figuur 2.5.7 gegeven waarden te vermenigvuldigen met de verhouding tussen de normaalwaarden van de potentiële verdamping van de betreffende plaats en die van De Bilt.

De procentpunten van het potentieel neerslagoverschot voor deze plaats kunnen vervolgens worden bepaald door de voor deze plaats geldende procentpunten van de neerslag te verminderen met de potentiële verdamping behorend bij dezelfde procentpunten van de neerslag.

Figuur 2.5.7.

Potentiële verdamping te De Bilt bij verschillende procentpunten van de neerslag in het zomerhalfjaar. De 10%-lijn geeft de potentiële verdamping aan die behoort bij de 10%-lijn voor de zomerneerslag in figuur 2.5.4.



2.5.5. Het gebruik van frequentieverdelingen van cumulatieve sommen

Voor velerlei berekeningen wordt gebruik gemaakt van frequentieverdelingen van cumulatieve sommen van meteorologische grootheden. Hierbij dient echter bedacht te worden dat onjuist gebruik of interpretatie van frequentieverdelingen tot verkeerde uitkomsten of conclusies kan leiden. In het navolgende wordt een aantal aspecten met betrekking tot het gebruik van frequentieverdelingen van cumulatieve potentiële neerslagoverschotten in het zomerhalfjaar nader toegelicht.

Bepaling van de frequentieverdeling van cumulatieve neerslagoverschotten

Soms wordt een frequentieverdeling van cumulatieve neerslagoverschotten bepaald door het verschil te bepalen tussen de neerslagsom en de potentiële verdampingssom bij complementerende procentpunten (bijvoorbeeld 10%-punt neerslagsom – 90%-punt potentiële verdampingssom).

Aan het aldus bepaalde neerslagoverschot wordt dezelfde frequentie toegekend als van de neerslagsom. Zoals in par. III. 2.5.4 reeds is vermeld, is deze benadering in principe onjuist, omdat de neerslag en de potentiële verdamping niet volledig aan elkaar gecorreleerd zijn.

Verloop van het cumulatieve potentiële neerslagoverschot in het zomerhalfjaar

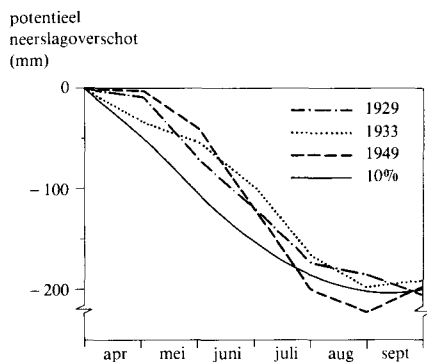
Naast de grootte van het potentiële neerslagoverschot in een zomerhalfjaar van een bepaalde droogtegraad kan ook het verloop van het potentiële neerslagoverschot binnen een dergelijk zomerhalfjaar belangrijk zijn.

Hoewel men in figuur 2.5.6 kan aflezen dat er in een 10%-zomerhalfjaar een potentieel neerslagoverschot is van -200 mm zegt deze figuur niets over het mogelijke verloop van het potentiële neerslagoverschot binnen een dergelijk zomerhalfjaar. In de praktijk is men echter vaak geneigd het verloop van het cumulatieve potentiële neerslagoverschot binnen een 10%-zomerhalfjaar gelijk te stellen aan het verloop van de 10%-lijn in figuur 2.5.6. Onder andere voor de berekening van vochttekorten wordt het neerslagoverschot per tijdstap (decade of maand) veelal afgeleid uit het verloop van deze frequentielijnen. Dit kan evenwel een zeer onwaarschijnlijk verloop zijn.

In figuur 2.5.8 is het verloop van de 10%-lijn vergeleken met het chronologisch verloop van het cumulatieve potentiële neerslagoverschot gedurende de zomerhalfjaren van 1929, 1933 en 1949. Dit zijn de zomerhalfjaren waarin het potentiële neerslagoverschot voor de gehele periode tussen -191 en -210 mm gelegen was. In het begin van het zomerseizoen veronderstelt de 10%-lijn een veel geringer potentieel neerslagoverschot dan in de jaren 1929, 1933 en 1949 voorgekomen is. Dit wijst er al enigszins op dat een verloop volgens de 10%-lijn niet zo erg waarschijnlijk is. Het verdient daarom veelal de voorkeur om een soort gemiddeld verloop te nemen.

Figuur 2.5.8.

Het verloop van het cumulatieve potentiële neerslagoverschot voor de zomerhalfjaren van 1929, 1933 en 1949. De vloeiende curve is de 10%-lijn uit figuur 2.5.6.



Voor een 10%-zomerhalfjaar kan men in dit geval een gemiddeld verloop bepalen door steeds het potentiële neerslagoverschot gelijk te stellen aan het gemiddelde potentiële neerslagoverschot van de jaren 1929, 1933 en 1949. Een bezwaar van deze procedure is dat het gemiddelde verloop slechts op een gering aantal jaren is gebaseerd.

Buishand (1982) beschrijft een methode om het verloop van het potentieel neerslagoverschot in een zomerhalfjaar van een bepaalde droogtefrequentie te berekenen, door toepassing van een aantal elementaire technieken uit de waarschijnlijkheidsrekening. Hiervoor dienen de volgende gegevens bekend te zijn:

- het potentieel neerslagoverschot in het betreffende droogtejaar over het gehele zomerhalfjaar (s);
- het gemiddelde potentiële neerslagoverschot (de verwachting, μ) voor het deeltijdvak waarin men is geïnteresseerd (μ_x) en over het gehele zomerhalfjaar (μ_s);
- de standaardafwijking van het potentieel neerslagoverschot voor het deeltijdvak (σ_x) en over het gehele zomerhalfjaar (σ_s).

Het gemiddelde potentiële neerslagoverschot (m_s) over een bepaald deeltijdvak in jaren waarin dit overschot in het gehele zomerhalfjaar de waarde s heeft, kan dan worden berekend met behulp van de volgende vergelijking:

$$m_s = \mu_x + \frac{\sigma_x^2}{\sigma_s^2} (s - \mu_s) \quad (\text{mm}) \quad (2.5.2)$$

De gemiddelde waarde (μ) en de standaardafwijking (σ) van het potentieel neerslagoverschot te De Bilt voor het gehele zomerhalfjaar en voor een aantal deelperioden van het zomerhalfjaar zijn gegeven in tabel 2.5.1.

Tabel 2.5.1. Verwachting μ en standaardafwijkingen σ van het potentiële neerslagoverschot te De Bilt voor het zomerhalfjaar en voor enkele deelperioden van het zomerhalfjaar.

tijdvak	μ (mm)	σ (mm)
1 april-30 april	- 9,4	27,8
1 april-31 mei	-41,3	44,3
1 april-30 juni	-73,8	57,1
1 april-31 juli	-89,9	76,0
1 april-31 aug.	-77,4	97,2
zomerhalfjaar	-54,7	113,2

Met behulp van vergelijking 2.5.2 kan men het gemiddelde potentiële neerslagoverschot bepalen voor verschillende deelperioden in zomerhalfjaren van uiteenlopende droogtegraden. De methode is weinig bewerkelijk daar men slechts voor een aantal tijdvakken het gemiddelde en de standaardafwijking van het potentiële neerslagoverschot nodig heeft.

Voorbeeld

Berekening van het gemiddeld potentieel neerslagoverschot over de deelperiode 1 april-31 mei in een 10%-zomerhalfjaar (potentieel neerslagoverschot over het gehele 10%-zomerhalfjaar, $s = -200$ mm).

Voor de verwachting en de standaardafwijking van het potentiële neerslagoverschot in het zomerhalfjaar leest men in tabel 2.5.1 de volgende waarden af:

$$\mu_s = -54,7 \text{ mm} ; \sigma_s = 113,2 \text{ mm}.$$

Voor de deelperiode 1 april-31 mei geldt volgens tabel 2.5.1:

$$\sigma_x = -41,3 \text{ mm} ; \sigma_x = 44,3 \text{ mm}.$$

Voor de waarde van m_s in het geval $s = -200$ mm krijgt men dan:

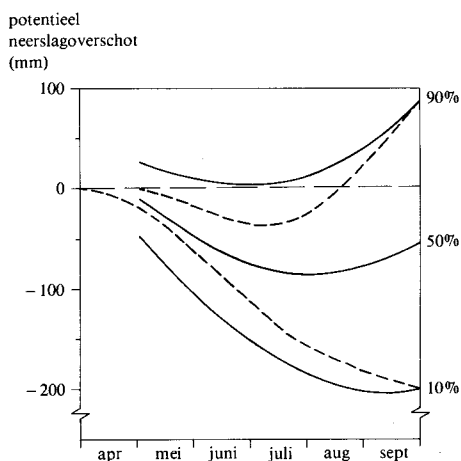
$$m_s = -41,3 + \frac{44,3^2}{113,2^2} (-200 + 54,7) = -63,5 \text{ mm}.$$

In figuur 2.5.9 is het verloop van het gemiddelde cumulatieve potentiële neerslagoverschot gegeven voor zowel een 10%-zomerhalfjaar als een 90%-zomerhalfjaar. Tevens zijn in figuur 2.5.9 de lijnen van gelijke cumulatieve frequentie van een 10%-, een 50%- en een 90%-zomerhalfjaar uit figuur 2.5.6 aangegeven. Daar de mediaan van het cumulatieve potentiële neerslagoverschot meestal weinig verschilt van de gemiddelde waarde, geeft de 50%-lijn tevens het verloop weer van het gemiddelde cumulatieve potentiële neerslagoverschot gedurende een 50%-zomerhalfjaar. Een dergelijke overeenkomst is er niet in een 10%-zomerhalfjaar en in een 90%-zomerhalfjaar.

Voor een 10%-zomerhalfjaar ligt de gemiddelde lijn geheel boven de 10%-lijn. In een 90%-zomerhalfjaar ligt lijn voor het gemiddelde juist onder de 90%-lijn. Daar een

Figuur 2.5.9.

Het verloop van het gemiddelde cumulatieve potentiële neerslagoverschot binnen een 10%-zomerhalfjaar en een 90%-zomerhalfjaar (onderbroken lijnen). De niet-onderbroken lijnen zijn de lijnen van gelijke cumulatieve frequentie uit figuur 2.5.6.



verloop volgens het gemiddelde veel waarschijnlijker is, verdient het gebruik hiervan meestal de voorkeur. Voor sommige berekeningen kan het echter wenselijk zijn een heel ander verloop te kiezen, of uit te gaan van een frequentieverdeling van een ander kenmerk. Een voorbeeld hiervan wordt in het navolgende gegeven.

Vereffening van de basisgegevens

Het cumulatief potentieel neerslagoverschot zoals weergegeven in figuur 2.5.9 vertoont in de tijd gezien een vloeiend verloop. Dit geldt zowel voor de lijnen gebaseerd op de frequentieverdeling als voor de lijnen gebaseerd op de gemiddelde verdeling.

Het werkelijke verloop in een concreet jaar kan echter zeer grillig zijn. De invloed hiervan op de berekeningsresultaten kan zeer groot zijn zoals wordt geïllustreerd door tabel 2.5.2. In deze tabel zijn op basis van de decadesommen van ($P - 0,8 E_0^{\text{MOW}}$) voor een aantal jaren de berekende vochttekorten voor grasland op hangwaterprofielen met een dun humeus dek (vochtinhoud wortelzone 50 mm) vermeld. De jaren zijn ingedeeld in een drietal groepen met vrijwel gelijk cumulatief potentieel neerslagoverschot over het groeiseizoen (april tot en met september). Tevens is per groep het vochttekort vermeld, berekend op basis van het verloop van het neerslagoverschot volgens de lijn van gelijke cumulatieve frequentie, voor droogtejaren met een zelfde neerslagoverschot over het gehele zomerhalfjaar.

Tabel 2.5.2 Vochttekort bij grasland op hangwaterprofielen met een dun humeus dek voor een 3-tal groepen jaren met vrijwel overeenkomstig cumulatief potentieel neerslagoverschot over het groeiseizoen en voor vergelijkbare "frequentie" jaren. (Waarnemingsreeks Avereest).

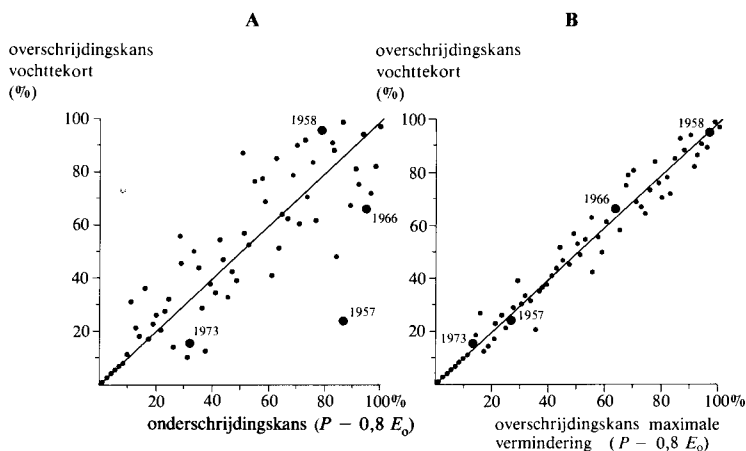
Jaar	Neerslag-overschot	Vochttekort (mm)	Jaar	Neerslag-overschot	Vochttekort (mm)	Jaar	Neerslag-overschot	Vochttekort (mm)
1913	-106	78	1918	-9	103	1924	97	40
1941	-98	167	1937	-8	36	1956	96	59
1944	-103	94	1969	-9	58	1957	82	129
1973	-96	137	1980	-1	73	1972	81	0
ca. 30% jaar	-100	82	ca. 60% jaar	-10	26	ca. 90 % jaar	90	0

De berekende vochttekorten van de werkelijke jaren zijn in vrijwel alle gevallen groter dan het vochttekort berekend op basis van het vergelijkbare "frequentie" jaar. Tussen individuele jaren binnen een groep, zijn verschillen tot meer dan 100 mm vochttekort mogelijk. Deze verschillen in vochttekort moeten nagenoeg volledig worden toegeschreven aan verschillen in de verdeling van het neerslagoverschot binnen het groeiseizoen.

Uit het voorgaande blijkt dat bij gebruik van statistische bewerkte meteorologische gegevens voor berekeningen waarbij de feitelijke verdeling in de tijd van invloed is op de berekeningsresultaten (onder andere vochttekortberekeningen), voorzichtheid geboden is. Het verdient aanbeveling om in deze situaties voor zover mogelijk te werken met de basisgegevens.

2.5.6. Karakterisering van de droogtegraad

De droogtegraad wordt meestal gekarakteriseerd door de kans waarmee een bepaalde meteorologische grootte (of afgeleide hiervan) in een bepaalde periode wordt over- of onderschreden. Welke grootte hiervoor wordt gehanteerd is afhankelijk van de doelstelling. Voor meteorologische doeleinden zal de neerslagsom veelal als criterium gehanteerd worden. Voor landbouwkundige doeleinden wordt vaak gebruik gemaakt van het potentiële neerslagoverschot ($P - 0,8 E_o^{\text{MOW}}$) over het zomerhalfjaar. Zoals hiervoor reeds is uiteengezet (zie tabel 2.5.2) is dit echter geen goede maatstaf voor de mate waarin vochttekorten optreden. Dit wordt nog eens geïllustreerd door figuur 2.5.10A, waarin de overschrijdingskans van het vochttekort op een hangwaterprofiel met een vochtinhoud van 50 mm, berekend op basis van decadegegevens van het potentieel neerslagoverschot ($P - 0,8 E_o^{\text{MOW}}$) van de waarnemingsreeks Avereest over de periode 1911 t/m 1977, is uitgezet tegen de onderschrijdingskans van het potentiële neerslagoverschot over het zomerhalfjaar. De punten vertonen een grote spreiding.



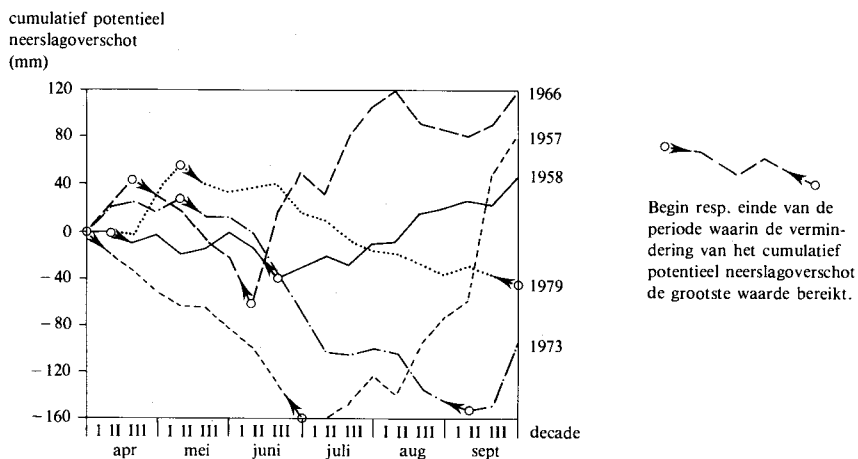
Figuur 2.5.10. Relatie tussen de overschrijdingskans van het berekende vochttekort en A: de onderschrijdingskans van het potentiële neerslagoverschot; B: de overschrijdingskans van de maximale vermindering van het cumulatieve potentiële neerslagoverschot. Zowel A als B gelden voor de periode april t/m september. Het vochttekort is berekend voor een hangwaterprofiel met een vochtinhoud van 50 mm op basis van decadegegevens van het potentieel neerslagoverschot ($P - 0,8 E_o^{\text{MOW}}$) van de waarnemingsreeks Avereest over de periode 1911 t/m 1977.

Een betere overeenstemming wordt verkregen door de overschrijdingskans van het vochttekort te relateren aan de overschrijdingskans van de *maximale vermindering van het cumulatieve potentiële neerslagoverschot* in een aaneengesloten periode binnen het zomerhalfjaar (fig. 2.5.10B). Door deze benadering worden neerslagoverschotten aan het begin en/of aan het einde van het zomerhalfjaar buiten beschouwing gelaten. Deze neerslagoverschotten zijn wel medebepalend voor het potentiële neerslagoverschot over

het gehele zomerhalfjaar doch hebben geen invloed op de grootte van de eventuele vochttekorten.

Gezien de geringe spreiding van de punten in fig. 2.5.10B kan worden gesteld dat, uit landbouwkundig oogpunt bezien, de maximale vermindering van het cumulatieve potentiële neerslagoverschot over een aaneengesloten periode van het zomerhalfjaar een goed criterium is om de droogtegraad van dat zomerhalfjaar te karakteriseren.

In figuur 2.5.11 is op basis van de waarnemingsreeks Avereest van een aantal jaren het cumulatieve potentiële neerslagoverschot over de periode april tot en met september weergegeven. Tevens is per jaar de periode aangegeven, waarover de vermindering hiervan de grootste waarde heeft. De betreffende jaren zijn met uitzondering van 1979 in figuur 2.5.10 apart aangeduid.



Figuur 2.5.11. Verloop van het cumulatieve potentiële neerslagoverschot over de periode april tot en met september, voor een vijftal jaren (waarnemingsreeks Avereest).

2.6. Extreme neerslaghoeveelheden¹

2.6.1. Inleiding

Met name in de afvoerhydrologie (ontwerpen van rioleringsstelsels en afwateringsstelsels) is men vaak geïnteresseerd in de neerslaghoeveelheid in relatief korte perioden die gemiddeld eens per T jaar wordt overschreden. De grootheid T wordt de herhalingstijd genoemd.

Omdat over korte perioden de waarnemingen van de neerslagsommen onderling niet onafhankelijk zijn, mag voor de kansberekening van neerslagsommen over korte perioden en neerslagsommen van elkaar overlappende perioden echter niet worden uitgegaan van frequentieverdelingen zoals beschreven in hfdst. III. 2.5. Door uit te gaan van kansberekeningen op basis van extreme waarden, kan het effect van deze onderlinge afhankelijkheid of persistentie meestal worden verwaarloosd.

Voor het analyseren van extreme waarden zijn in de hydrologische praktijk twee methoden in gebruik: een methode gebaseerd op analyse van zogenaamde partiële reeksen en een methode gebaseerd op analyse van reeksen van extreme waarden. Beide berekeningsmethoden worden in het navolgende kort toegelicht.

Een *partiële reeks* ontstaat door van de oorspronkelijke reeks alleen de neerslaghoeveelheden boven een bepaalde waarde (het basisniveau) te noteren. Zo kan men bijvoorbeeld in een reeks van uursommen alle neerslaghoeveelheden kleiner dan 8 mm weglaten. De hoogte van het basisniveau wordt meestal zodanig gekozen dat men gemiddeld enige overschrijdingen per jaar heeft. Het voordeel van de partiële reeks is dat men deze veelal als een reeks van onafhankelijke waarnemingen mag opvatten. Nadere bijzonderheden over de analyse van neerslaghoeveelheden in een partiële reeks kan men vinden in *Buishand* (1983, 1984).

De *extreme waarden-reeks* ontstaat door voor elk jaar (of een bepaald seizoen) slechts de grootste neerslagsom te noteren. Heeft men een reeks van bijvoorbeeld 50 jaren dagsommen van de neerslag dan bestaat de extreme waarden-reeks uit 50 waarnemingen van de maximale dagsommen in afzonderlijke jaren. Men verliest hier wel informatie. Heeft men bijvoorbeeld in een jaar drie dagen met extreem hoge neerslag dan wordt slechts de dag met de hoogste neerslag opgenomen. De andere twee dagen blijven buiten beschouwing ondanks het feit dat de neerslaghoeveelheid op die dagen groter kan zijn dan de maximale dagsom in andere jaren.

¹ Bij de samenstelling van dit onderdeel is in belangrijke mate gebruik gemaakt van de K.N.M.I.-publikatie "Neerslag en Verdamping" van *Buishand en Velds*, 1980.

Door statistische bewerking van de partiële reeks of de extreme waarden-reeks kan voor elke neerslaghoeveelheid een bepaalde herhalingstijd worden berekend.

De herhalingstijd geeft de gemiddelde lengte van het tijdsinterval aan tussen twee opeenvolgende gebeurtenissen van een bepaald verschijnsel. Het is dan ook beter te spreken over de gemiddelde herhalingstijd. Een gebeurtenis met een herhalingstijd van 5 jaar komt in een reeks van 100 jaren gemiddeld $20\times$ voor.

De herhalingstijd wordt afhankelijk van de toegepaste berekeningsmethode aangeduid als T_p (partiële reeks) of als T_e (extreme waarden-reeks). De waarden van T_p en T_e voor een bepaalde neerslagsom zijn niet gelijk. Voor waarden van $T_p > 1$ kan globaal worden gesteld dat $T_e \approx T_p + 0,5$.

Voor herhalingstijden van meer dan 5 keer per jaar mag men geen gebruik maken van extreme waarden-reeksen maar moet gebruik worden gemaakt van partiële reeksen.

Voor meer informatie omtrent de kansverdeling van extremen en de relatie tussen T_e en T_p wordt verwezen naar *Buishand en Velds* (1980).

Op basis van de door *Buishand en Velds* (1980) beschreven methode zijn door *Bouwknegt* (1986) voor partiële duur-reeksen van het gehele jaar, van het zomerhalfjaar en van het winterhalfjaar de neerslaghoeveelheden berekend bij herhalingstijden T_p van 1, 2, 5, 10, 25 en 100 jaar. De gekozen tijdsduren waarvoor de berekeningen zijn uitgevoerd, variëren van 5 minuten tot 4 dagen.

2.6.2. Extreme neerslaghoeveelheden voor lange tijdsintervallen

In de figuren 2.6.1, 2.6.2 en 2.6.3 zijn de door *Bouwknegt* (1986) berekende neerslaghoeveelheden voor duren van 6 uren tot 96 uren (4 dagen) grafisch weergegeven voor respectievelijk de jaarextremen, de zomerextremen en de winterextremen.

De grootste neerslaghoeveelheden, vooral bij korte duren, treden op in het zomerhalfjaar. Bij langere duren neemt het verschil tussen de zomer- en winterextremen af.

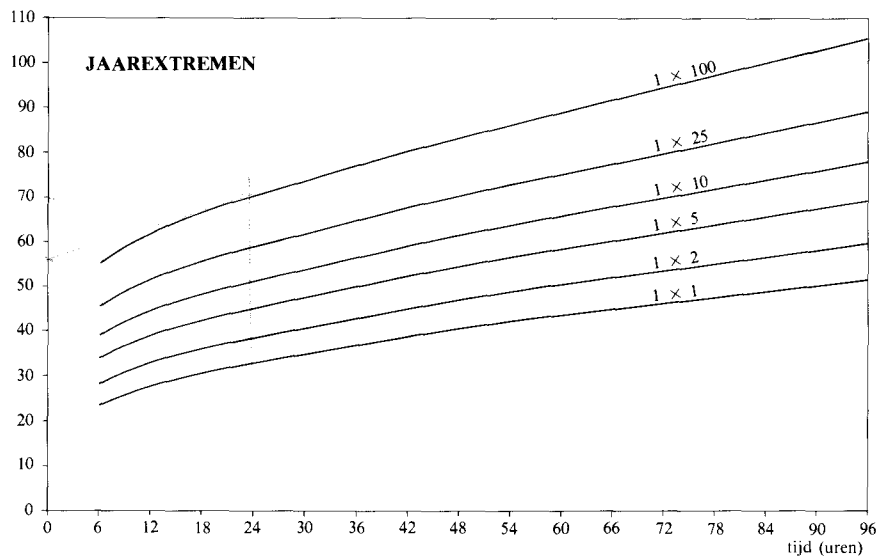
Voor periodelengten van ongeveer 1 dag tot 10 dagen blijkt er bij een bepaalde herhalingstijd een vrijwel lineair verband te bestaan tussen de neerslaghoeveelheid en de duur op dubbellogaritmisch papier.

Voor winterextremen blijkt het rechtlijnig verband op dubbellogaritmisch papier ook voor duren van 6 uur tot 24 uur goed te voldoen. Bij zomer- en jaarextremen mag men dit verband voor duren kleiner dan 24 uur niet toepassen (*Buishand en Velds*, 1980).

De figuren 2.6.1, 2.6.2 en 2.6.3 hebben betrekking op de reeks van De Bilt. Voor andere plaatsen in Nederland kunnen de neerslaghoeveelheden bij een bepaalde herhalingstijd enigszins verschillen van die voor De Bilt.

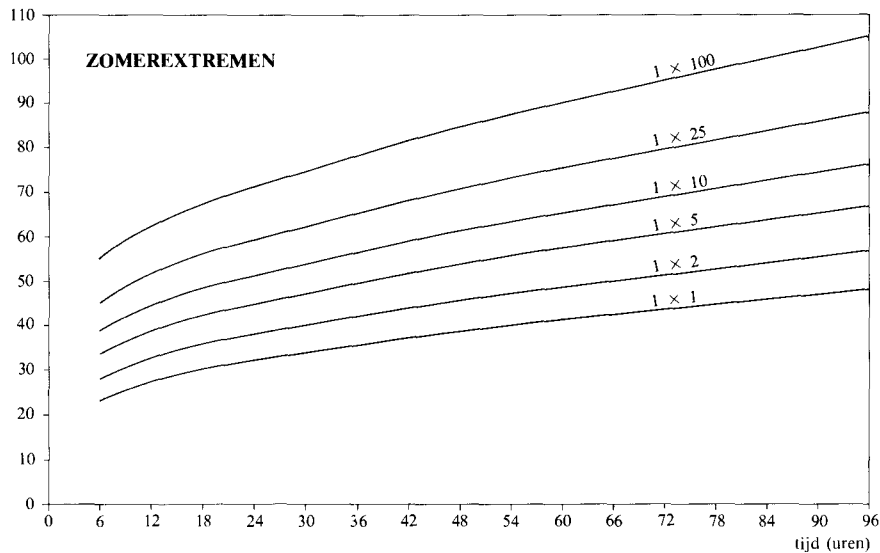
Evenals bij de procentpunten van cumulatieve neerslaghoeveelheden geldt ruwweg dat de extremen evenredig zijn aan de normalen. De neerslagsom bij een bepaalde herhalingstijd voor andere plaatsen dan De Bilt kan worden benaderd door de extreme waarden voor De Bilt te vermenigvuldigen met de verhouding tussen de normaalwaarden van de betreffende plaats en die van De Bilt.

neerslaghoogte
(mm)



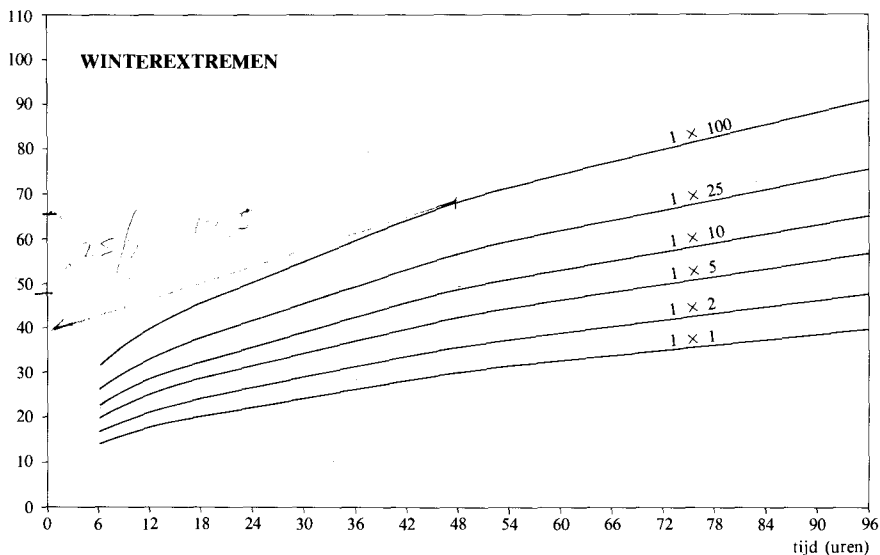
Figuur 2.6.1. Neerslaghoogte te De Bilt (jaarextremen op basis van een partiële reeks) voor dueren van 6 uren tot 96 uren (4 dagen) bij een herhalingstijd T_p van 1, 2, 5, 10, 25 en 100 jaar ontleend aan Bouwknegt, 1986).

neerslaghoogte
(mm)



Figuur 2.6.2. Neerslaghoogte te De Bilt (zomerextremen op basis van een partiële reeks) voor dueren van 6 uren tot 96 uren (4 dagen) bij een herhalingstijd T_p van 1, 2, 5, 10, 25 en 100 jaar (ontleend aan Bouwknegt, 1986).

neerslaghoogte
(mm)



Figuur 2.6.3. Neerslaghoogte te De Bilt (winterextremen op basis van een partiële reeks) voor duran van 6 uren tot 96 uren (4 dagen) bij een herhalingstijd T_p van 1, 2, 5, 10, 25 en 100 jaar (ontleend aan Bouwknecht, 1986).

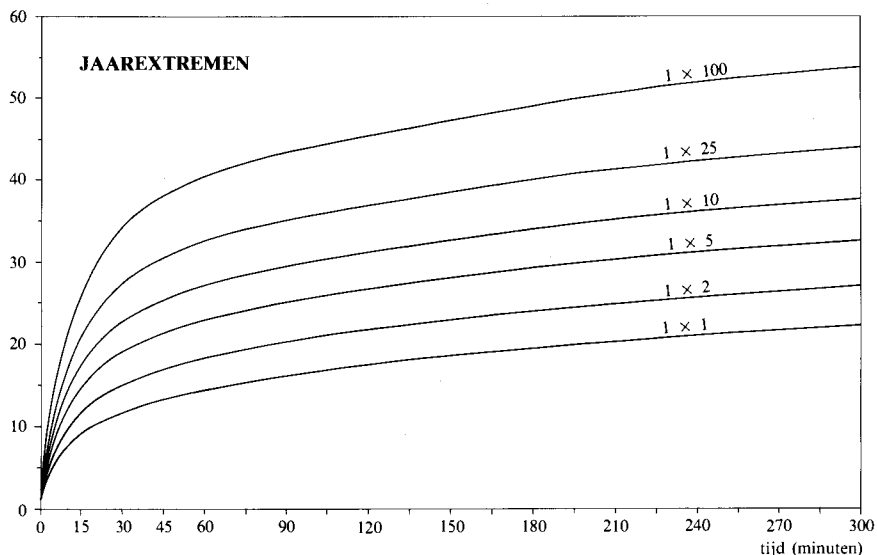
De normalen van De Bilt zijn respectievelijk $N_B = 796$ mm (jaarsom), $N_B = 390$ mm (winterhalfjaar) en $N_B = 406$ mm (zomerhalfjaar). De normalen voor andere plaatsen in Nederland kunnen worden afgelezen uit figuur 2.2.3 en tabel 2.1.1 (jaarsom), figuur 2.2.5 (zomerhalfjaar) en figuur 2.2.6 (winterhalfjaar).

2.6.3. Neerslagintensiteit bij korte tijdsintervallen

In figuur 2.6.4 zijn voor verschillende herhalingstijden de neerslaghoeveelheden van de jaarextremen voor duran van 5 tot 300 minuten weergegeven. Omdat bij deze korte tijdsduran de extremen vrijwel uitsluitend in de zomer optreden, kunnen deze jaarextremen eveneens als zomerextremen worden aangemerkt.

Bij korte tijdsintervallen werkt men vaak met intensiteiten in plaats van met hoeveelheden. De intensiteit, I , verkrijgt men door de neerslaghoeveelheid te delen door de duur van het tijdvak waarin deze gevallen is.

neerslaghoogte
(mm)



Figuur 2.6.4. Neerslaghoogte te De Bilt (jaarextremen op basis van een partiële reeks) voor duran van 5 tot 300 minuten bij een herhalingsdjd T_p van 1, 2, 5, 10, 25 en 100 jaar (onleend aan Bouwknegt, 1986).

Figuur 2.6.4 kan worden gebruikt om de intensiteit bij verschillende duran (D) en herhalingsdjdten te berekenen. Een iets nauwkeuriger antwoord kan worden verkregen met behulp van de volgende vergelijking:

$$I \approx u (1 + c \ln T_p) \approx u \{1 + c \ln(T_e - \frac{1}{2})\} \quad (2.6.1)$$

De parameter c in deze vergelijking kan uit figuur 2.6.5 worden afgelezen. Voor de parameter u geldt:

$$u = \frac{5,74}{(D + 4)^{0,76}} \quad (2.6.2).$$

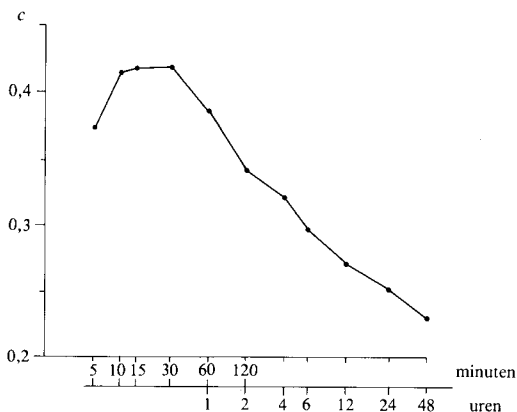
met D in minuten en u in $\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$.

Bijvoorbeeld voor een duur van 15 minuten krijgt men $u = 0,61 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ (102 liter per sec per ha). Dit is de 15-minutenintensiteit die gemiddeld eens per jaar wordt overschreden (het zogenaamde *Reinhold-getal*). Uit figuur 2.6.6 volgt $c = 0,42$, zodat voor $T_p = 0,5$ jaar geldt:

$$I \approx 0,61(1 + 0,42 \ln 0,5) = 0,43 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$$

Figuur 2.6.5.

De waarde van de parameter c in vergelijking 2.6.1. in afhankelijkheid van de duur (ontleend aan Buishand en Velds, 1980).



Dit is de 15-minutenintensiteit die gemiddeld 2 maal per jaar wordt overschreden. De neerslagintensiteit bij $T_p = 0,5$ jaar is ongeveer de ondergrens tot waar men vergelijking 2.6.1 mag toepassen. Voor duren van 6 uren en langer is vergelijking 2.6.1 ook nog redelijk toepasbaar voor $T_p = 0,2$ jaar.

De in figuur 2.6.4 gegeven extremen hebben betrekking op het waarnemingsstation De Bilt. Het is niet duidelijk in hoeverre er in Nederland belangrijke plaatselijke verschillen zijn met betrekking tot de extremen voor korte duren, zodat aanbevolen wordt vooralsnog overal de getallen van De Bilt aan te houden.

2.6.4. Gebiedsgemiddelden van extreme neerslaghoeveelheden

De hiervoor genoemde extreme waarden hebben betrekking op de neerslagsom op één punt. Voor vele toepassingen zijn echter niet puntneerslagen maar gebiedsgemiddelden van belang. Bij niet te kleine herhalingstijden zijn extremen van gebiedsgemiddelden echter kleiner dan die van puntneerslagen. Extremen van gebiedsgemiddelden worden gewoonlijk uit extremen van puntneerslagen afgeleid met behulp van de gebiedsreductiefactor (Eng.: "areal reduction factor"). Deze wordt gedefinieerd door:

$$ARF = x_g/x_p \quad (2.6.3)$$

waarin:

x_p = puntneerslagsom bij een gegeven duur D en herhalingstijd T
 x_g = gebiedsgemiddelde bij dezelfde duur en herhalingstijd

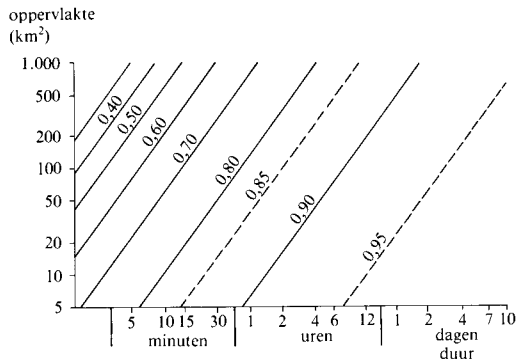
De ARF hangt af van de oppervlakte A en de vorm van het gebied, de duur D en de herhalingstijd T . Daarnaast zijn er ook nog seizoeninvloeden.

In figuur 2.6.6 is de gebiedsreductiefactor *ARF* gegeven als functie van de oppervlakte en de duur.

Met behulp van de gegeven waarden voor de *ARF* kunnen de jaarextremen van puntneerslagen in de figuren 2.6.1 en 2.6.4 worden herleid tot gebiedsextremen. Bij korte uren komen de jaarmaxima vrijwel uitsluitend voor in het zomerhalfjaar en komt de *ARF* voor de zomerextremen nagenoeg overeen met de *ARF* voor de jaarextremen.

Voor het winterhalfjaar is de *ARF* echter veel groter en verschilt nauwelijks van 1. Het is daarom aan te bevelen voor gebieden kleiner dan 1.000 km² bij de punttextremen van het winterhalfjaar in figuur 2.6.2 helemaal geen gebiedsreductiefactor toe te passen om gebiedsextremen te verkrijgen.

Figuur 2.6.6.
De waarde van de gebiedsreductiefactor ARF in afhankelijkheid van de oppervlakte en de duur (ontleend aan Buishand en Velds, 1980).



2.7. Tabellen

2.7.1. Historische reeksen

Tabel 2.7.1 Neerslaghoeveelheden in mm per winterhalfjaar, zomerhalfjaar en per jaar voor zes waarnemingsstations vanaf 1911

JAAR	DEN HELDER		DE BILT		AVEREEST		OUDENBOSCH		GEMERT		WINTERSWIJK	
	WI	ZO JAAR	WI	ZO JAAR	WI	ZO JAAR	WI	ZO JAAR	WI	ZO JAAR	WI	ZO JAAR
1911		198 596		232 641		183 550		275 655		164 529		175 502
1912	415	393 759	480	586 1027	414	457 850	430	394 834	447	416 846	393	354 783
1913	352	262 593	416	352 719	349	352 661	413	367 714	372	322 685	397	338 720
1914	374	326 747	429	341 785	361	403 823	380	377 741	410	352 740	425	396 803
1915	484	314 800	465	412 891	442	450 836	388	372 809	394	338 794	425	322 737
1916	408	275 595	465	430 895	373	395 771	433	417 846	473	336 751	392	372 783
1917	247	379 739	308	458 782	249	368 673	317	397 675	277	428 691	297	437 756
1918	396	356 678	422	478 884	399	392 750	331	368 778	310	337 720	396	426 776
1919	348	324 663	384	350 742	312	335 689	409	317 679	387	353 711	316	306 710
1920	308	366 526	379	416 641	382	458 654	348	353 533	362	311 530	453	349 607
1921	165	177 415	199	156 388	176	215 482	155	150 398	174	142 354	232	158 450
1922	270	310 592	294	362 651	291	428 713	341	367 687	282	397 682	301	334 707
1923	260	388 745	246	425 841	307	391 752	275	377 783	269	366 787	367	428 831
1924	312	399 596	396	502 778	270	429 635	383	416 702	363	473 724	324	616 827
1925	269	390 782	324	429 899	244	431 783	324	476 914	360	401 856	361	405 887
1926	365	305 590	465	331 711	389	445 788	409	316 680	424	356 772	481	446 968
1927	322	431 726	385	531 875	343	576 878	370	505 801	389	508 805	453	579 876
1928	283	324 721	350	384 814	298	366 798	290	351 761	294	295 695	321	575 830
1929	297	194 504	295	285 630	327	357 667	317	247 640	288	210 519	300	312 660
1930	352	407 755	383	550 911	342	453 761	436	548 948	366	522 878	444	453 852
1931	414	389 657	475	475 771	397	541 842	514	490 787	466	356 645	485	414 739
1932	179	333 626	199	407 744	223	604 941	186	373 711	164	400 669	223	464 802
1933	328	204 457	363	290 511	353	343 549	388	350 627	289	328 524	329	330 516
1934	280	280 619	229	352 711	206	375 739	281	261 624	214	313 635	223	401 743
1935	344	342 738	400	563 917	410	454 828	381	433 803	364	435 750	373	469 816
1936	412	340 727	361	420 750	383	462 859	368	399 753	315	402 734	348	520 905
1937	440	396 740	475	329 727	517	405 807	502	379 796	467	314 710	492	416 763
1938	263	238 637	277	367 783	310	325 783	271	230 577	263	327 665	270	281 720
1939	489	252 814	433	372 839	480	483 975	361	329 420	341	291 722	440	377 836
1940	507	322 744	439	398 821	453	462 953	420	374 799	427	355 797	423	419 847
1941	439	271 713	429	320 736	480	383 820	497	361 766	469	313 685	437	334 746
1942	363	430 815	378	432 780	327	375 663	292	386 694	303	375 628	321	361 613
1943	432	274 604	363	364 670	410	392 697	341	318 611	272	379 652	305	340 611
1944	323	302 776	324	324 808	318	384 906	293	343 745	295	349 795	336	347 820
1945	458	338 606	475	512 805	474	523 813	393	383 650	438	378 659	419	478 757
1946	343	370 766	426	376 817	399	428 811	382	382 754	426	383 827	442	372 823
1947	364	277 623	322	327 752	272	406 814	287	300 680	321	285 623	291	300 709
1948	393	279 629	470	437 736	507	384 701	452	379 723	384	432 742	475	429 733
1949	256	267 723	187	296 668	196	316 694	212	285 608	185	237 540	213	372 704
1950	477	566 987	465	518 950	457	553 959	387	567 974	346	421 757	398	467 856
1951	541	381 828	432	391 810	497	418 923	471	504 887	413	444 811	429	401 836
1952	394	306 731	374	355 792	409	465 887	377	427 960	328	344 734	394	369 779
1953	344	367 590	358	424 607	357	512 713	413	430 588	308	331 480	321	361 530
1954	263	370 761	204	463 818	220	512 936	178	503 811	212	449 806	228	515 914
1955	384	215 585	349	307 660	446	329 714	349	334 674	373	303 610	405	353 715
1956	423	403 806	382	422 752	384	441 796	349	412 781	305	415 740	356	497 837
1957	372	428 791	361	582 924	422	486 881	391	502 818	369	430 742	424	472 833
1958	423	323 734	364	432 829	377	436 824	356	411 820	303	370 734	334	453 863
1959	372	156 593	347	200 539	321	212 499	355	210 562	329	143 425	325	204 868
1960	332	352 944	321	401 928	282	484 986	330	397 887	263	441 963	274	452 945

Vervolg tabel 2.7.1. Neerslaghoeveelheden in mm per winterhalfjaar, zomerhalfjaar en per jaar

JAAR	DEN HELDER			DE BILT			AVEREEST			OUDENBOSCH			GEMERT			WINTERSWIJK		
	WI	ZO	JAAR	WI	ZO	JAAR	WI	ZO	JAAR	WI	ZO	JAAR	WI	ZO	JAAR	WI	ZO	JAAR
1961	591	357	816	573	425	912	609	463	1010	545	385	914	586	449	898	609	461	1016
1962	459	338	711	488	363	765	482	374	695	488	396	733	431	364	704	523	405	777
1963	300	455	724	310	494	777	225	412	672	283	392	675	241	342	587	260	421	707
1964	258	370	697	269	385	748	263	322	604	281	399	780	249	257	395	270	302	590
1965	400	462	895	464	643	1160	345	588	992	452	516	962	395	517	958	375	560	1045
1966	466	454	1021	559	569	1143	454	488	998	473	489	1016	501	435	1004	566	557	1189
1967	554	303	865	509	354	856	461	409	790	487	411	835	483	354	719	545	395	805
1968	528	577	920	491	547	863	362	493	786	437	509	838	380	473	760	401	495	801
1969	364	335	666	306	456	748	269	453	683	314	435	740	301	417	700	286	465	719
1970	355	355	796	372	418	909	284	456	837	381	381	847	386	322	815	347	474	963
1971	435	245	586	412	291	561	332	278	533	365	356	641	342	330	592	378	334	586
1972	256	326	590	229	412	658	222	460	666	270	421	652	224	424	611	220	484	682
1973	294	354	702	266	414	781	258	347	711	219	359	691	205	340	632	242	356	718
1974	368	356	857	396	454	997	375	381	826	408	360	864	370	359	877	382	392	881
1975	555	317	735	543	314	630	495	423	745	517	389	720	527	346	667	511	330	645
1976	377	193	581	298	211	542	292	257	576	251	182	465	262	202	506	313	191	502
1977	415	200	626	378	331	793	338	335	744	373	339	776	368	364	780	317	394	754
1978	426	257	616	427	291	665	382	326	638	364	284	615	392	303	742	358	335	656
1979	376	347	850	393	412	873	304	351	711	390	331	779	430	321	799	334	344	699
1980	475	403	862	442	413	863	371	418	812	440	334	733	428	390	742	346	442	812
1981	539	226	808	543	358	992	517	306	877	447	287	816	436	308	852	471	372	889
1982	480	367	798	471	251	635	461	299	688	438	275	693	418	299	708	387	226	570
1983	491	414	832	495	439	891	451	434	905	476	412	766	480	400	763	426	426	837
1984	430	378	822	502	397	890	516	395	902	399	452	930	356	410	818	415	401	846
1985	399	438	849	295	426	725	365	483	812	352	511	811	327	434	811	335	509	793
1986	374	348	816	405	300	834	367	266	766	383	295	837	407	362	841	362	359	823
1987	484	414	843	512	541	976	508	409	839	452	474	860	408	399	778	448	522	935
1988	577			629			574			593			508			521		

Tabel 2.7.2 Verdamping (E_0^{MOW}) per winterhalfjaar, zomerhalfjaar en per jaar voor zes waarnemingsstations vanaf 1911

JAAR	DEN HELDER			DE BILT			AVEREEST			OUDENBOSCH			GEMERT			WINTERSWIJK		
	WI	ZO	JAAR	WI	ZO	JAAR	WI	ZO	JAAR	WI	ZO	JAAR	WI	ZO	JAAR	WI	ZO	JAAR
1911		708	862		648	750		631	732		655	770		619	708		614	713
1912	155	601	748	103	547	643	103	497	596	122	546	664	92	517	607	106	512	613
1913	161	586	767	112	524	640	116	540	663	125	510	637	106	493	599	118	508	624
1914	176	662	812	109	599	704	110	603	697	120	587	697	97	580	676	103	576	679
1915	144	661	800	101	575	671	83	592	666	100	565	658	97	578	670	94	577	665
1916	147	561	726	98	531	640	73	522	608	98	516	627	97	520	628	91	521	625
1917	143	650	791	98	612	705	80	603	672	97	581	671	92	607	692	88	609	686
1918	158	624	758	109	576	673	81	536	607	111	568	669	103	555	649	101	546	642
1919	118	603	725	77	564	646	61	557	628	84	573	661	79	570	655	81	558	640
1920	147	606	748	108	541	659	97	531	638	110	533	651	111	541	659	107	543	664
1921	145	686	844	114	633	749	93	591	688	110	624	732	115	641	759	113	622	733
1922	144	628	768	106	574	674	97	542	629	94	566	654	103	562	658	90	575	658
1923	132	604	750	100	545	641	81	493	572	91	536	625	97	540	636	94	529	622
1924	152	580	718	98	549	648	80	480	564	86	529	614	95	541	634	95	537	631
1925	156	632	781	100	581	677	90	585	675	84	548	628	96	548	644	93	568	660
1926	136	604	757	99	544	650	88	548	647	88	532	627	98	517	617	94	532	629
1927	147	597	737	102	546	643	108	552	650	92	532	628	97	535	627	96	528	621
1928	157	645	815	114	606	730	112	640	769	122	607	735	103	593	703	106	587	695
1929	137	659	810	100	612	713	97	611	700	95	604	697	91	605	699	83	599	691
1930	167	640	782	113	573	681	102	566	661	106	566	670	95	565	654	104	562	657

Vervolg tabel 2.7.2. Verdamping (E_o^{MOW}) per winterhalfjaar, zomerhalfjaar en per jaar.

JAAR	DEN HELDER		DE BILT		AVEREEST		OUDENBOSCH		GEMERT		WINTERSWIJK	
	WI	ZO JAAR	WI	ZO JAAR	WI	ZO JAAR	WI	ZO JAAR	WI	ZO JAAR	WI	ZO JAAR
1931	152	600 749	103	558 663	91	539 627	105	559 677	95	556 651	90	554 655
1932	147	616 766	111	561 664	91	538 623	129	575 693	95	553 646	106	541 632
1933	149	647 787	107	602 705	93	547 641	120	631 743	101	585 677	102	560 659
1934	125	648 781	88	626 724	77	596 672	97	639 747	80	613 704	80	601 690
1935	162	668 855	112	597 717	87	580 684	121	622 745	100	602 717	101	585 696
1936	174	579 739	110	561 663	95	514 598	112	569 676	114	544 651	104	541 634
1937	160	539 690	99	526 620	82	489 568	104	541 639	103	522 619	79	509 588
1938	156	636 807	108	553 668	93	548 648	111	593 716	110	560 676	101	559 663
1939	166	651 800	103	605 701	92	572 659	118	619 724	111	597 699	100	573 666
1940	130	621 761	86	568 658	77	542 623	94	582 683	90	565 659	82	540 622
1941	141	613 753	92	585 673	86	567 655	95	584 675	92	562 649	79	548 626
1942	133	643 766	78	610 686	81	572 647	88	649 738	82	597 684	74	563 646
1943	157	655 804	102	604 701	98	604 698	108	614 712	106	589 683	105	573 665
1944	153	618 774	97	582 687	84	554 639	92	568 672	84	557 647	75	532 606
1945	129	618 754	97	589 692	85	547 638	100	590 690	95	571 678	77	549 634
1946	146	640 781	105	594 695	89	576 664	103	606 713	103	534 639	84	545 629
1947	126	739 885	87	716 811	88	676 768	96	759 862	99	688 787	80	653 738
1948	175	666 830	127	586 705	105	582 681	137	605 732	124	568 683	109	542 648
1949	156	644 816	104	619 731	90	563 653	111	655 771	113	631 752	95	572 670
1950	176	649 819	111	585 689	92	583 680	117	626 739	114	595 708	100	575 679
1951	162	626 794	101	565 676	94	570 675	110	591 706	112	566 680	107	551 661
1952	171	655 804	106	588 679	103	577 662	106	616 710	106	585 683	103	560 652
1953	124	648 762	89	606 697	79	600 682	93	622 714	96	602 699	87	583 673
1954	119	599 746	96	564 678	90	539 637	93	561 667	106	569 691	105	540 655
1955	171	611 768	118	593 695	99	563 652	107	606 702	122	596 706	110	588 683
1956	131	551 671	101	515 621	89	486 577	98	530 628	111	505 617	99	477 577
1957	131	665 800	111	593 701	85	563 649	104	610 715	118	612 735	96	574 677
1958	140	578 709	101	550 646	92	521 605	100	591 688	115	571 675	103	537 634
1959	124	730 876	90	700 817	74	649 749	99	742 872	100	727 860	88	675 788
1960	150	592 720	129	562 669	114	522 614	137	580 691	142	560 670	126	528 634
1961	126	596 735	98	513 603	87	521 612	110	578 693	108	538 647	108	511 616
1962	147	561 697	85	487 569	86	511 597	115	555 660	102	518 615	93	501 587
1963	92	562 654	76	508 586	80	536 619	101	557 664	92	538 638	80	527 615
1964	120	632 756	85	573 660	94	602 694	99	620 714	101	620 714	97	616 712
1965	136	565 709	88	502 592	92	516 613	96	532 636	99	519 629	98	502 606
1966	135	602 743	83	528 609	97	545 640	101	550 646	102	557 655	100	536 630
1967	169	623 815	97	556 659	118	558 691	113	590 715	128	592 727	113	549 672
1968	182	591 733	100	523 616	128	540 650	122	571 679	123	559 670	112	533 630
1969	121	629 776	91	587 686	94	548 649	100	616 728	100	599 712	88	557 654
1970	147	633 777	90	577 665	94	572 666	106	606 711	105	579 680	87	542 627
1971	148	614 766	102	587 695	98	567 660	115	595 710	111	590 695	99	578 677
1972	155	580 701	116	535 650	98	496 588	129	561 691	118	536 656	111	506 616
1973	106	592 699	101	598 691	79	542 620	113	609 722	100	607 706	91	568 655
1974	108	582 706	99	567 669	90	540 636	123	586 710	111	589 706	102	554 664
1975	138	623 745	100	629 722	86	580 666	117	614 719	114	610 712	108	597 695
1976	131	641 766	109	667 774	106	629 735	121	710 835	113	687 805	101	661 765
1977	104	549 668	100	543 647	100	523 629	112	559 679	111	555 676	100	524 634
1978	124	564 664	102	521 614	92	510 592	111	541 642	117	524 624	99	500 584
1979	104	534 638	86	521 614	83	505 596	96	541 642	92	537 647	78	503 591
1980	107	577 706	95	542 638	88	527 613	98	570 678	114	580 689	95	548 640
1981	138	561 688	92	516 599	87	521 601	119	527 627	117	563 681	95	540 629
1982	123	610 727	89	589 682	85	572 659	95	580 678	121	616 738	90	592 687
1983	137	566 705	98	560 656	89	590 684	105	573 676	129	615 745	100	602 712
1984	142	533 677	93	508 602	93	471 560	95	525 622	122	537 647	107	497 600
1985	118	548 659	84	526 610	78	511 591	88	562 653	87	556 643	90	529 614
1986	114	579 705	94	568 669	89	558 649	110	590 708	114	585 698	94	567 665
1987	126		96		88		115		104		95	

N.B. M.i.v. 1 april 1987 is de berekening van de "openwaterverdamping" volgens Penman (E_o) vervangen door de referentiegewasverdamping volgens makkink (E_r)

2.7.2. Normaalwaarden neerslag en verdamping

Tabel 2.7.3 Maand-, seizoen- en jaarnormalen van de neerslaghoeveelheid (1951-1980) in mm per district. (Bron: Klimatologische gegevens van Nederlandse stations No.10 Normalen en standaardafwijkingen voor het tijdvak 1951-1980. Kon. Ned. Meteorologisch Instituut, 1982).

Dis- trict nr.	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	WI	LE	ZO	HE	WI ZO h.jr. h.jr.	JAAR
1	65	44	44	43	41	46	68	78	78	81	91	79	188	128	191	250	354 404	756
2	65	47	46	49	50	59	82	84	74	73	82	76	188	144	226	230	398 389	787
3	63	44	46	48	54	61	88	84	68	68	77	73	180	148	234	213	404 371	775
4	64	46	46	46	44	51	72	84	78	77	86	77	187	137	207	241	375 396	771
5	60	46	46	50	52	63	86	87	72	67	74	72	178	147	236	213	410 365	775
6	62	46	48	50	56	66	90	83	64	60	70	72	181	155	239	194	410 359	768
7	67	50	49	48	47	60	79	88	75	77	84	78	194	144	226	236	397 404	800
8	69	52	53	55	57	67	86	89	67	65	75	80	201	165	242	207	421 395	815
9	62	49	50	49	57	65	87	80	59	57	67	73	184	156	232	183	397 358	755
10	63	50	51	49	54	66	80	83	62	63	74	73	187	154	229	199	394 375	769
11	61	48	47	44	46	60	74	79	68	74	79	69	178	137	212	221	372 377	748
12	63	50	51	46	54	66	82	83	64	68	76	72	185	151	230	209	394 381	775
13	62	52	53	47	55	65	78	78	58	59	69	72	185	154	221	186	380 367	746
14	57	49	52	46	56	65	78	79	56	53	64	66	172	154	221	173	379 341	720
15	64	57	56	55	64	73	84	87	64	59	73	73	194	175	243	196	426 382	808
land gem.	64	48	49	48	52	62	81	83	68	68	77	74						

Tabel 2.7.4. Standaarddeviaties van de maand-, seizoen- en jaarsommen van de neerslag in mm per district. (Bron: Klimatologische gegevens van Nederlandse stations No. 10 Normalen en standaardafwijkingen voor het tijdvak 1951-1980. Kon. Ned. Metereologisch Instituut, 1982)

Dis- trict nr.	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	WI	LE	ZO	HE	WI ZO h.jr. h.jr.	JAAR
1	28	21	17	25	21	21	31	33	38	41	35	35	52	41	57	72		104
2	28	24	17	26	22	24	35	38	35	36	35	36	55	43	62	63		117
3	30	23	17	26	23	24	34	38	36	31	32	36	56	45	62	59		110
4	29	22	20	24	24	24	32	40	40	40	39	38	56	44	64	72		118
5	26	23	19	26	24	31	41	40	39	34	35	37	53	44	72	65		132
6	30	25	19	27	23	27	44	36	37	31	34	39	63	45	73	63		144
7	29	25	21	22	26	27	36	41	41	44	39	39	58	47	64	73		127
8	31	27	20	28	25	27	42	38	41	36	36	47	67	48	72	68		154
9	29	28	20	27	21	27	42	33	36	32	31	42	64	44	70	61		148
10	26	27	22	25	27	29	39	37	38	37	35	41	59	48	65	66		132
11	25	23	21	21	24	27	33	37	38	46	36	36	52	42	61	76		123
12	26	26	22	24	26	28	34	36	36	40	33	40	55	45	58	69		120
13	26	29	24	25	25	30	36	33	33	36	33	40	58	47	63	65		137
14	23	28	24	25	24	31	41	30	32	35	29	35	49	46	66	64		140
15	25	31	24	29	24	30	38	33	37	36	33	41	53	46	65	67		155

Tabel 2.7.5 Maand-, seizoen- en jaarnormalen (1951-1980) van de verdamping uit een vrij wateroppervlak, E_o^{MOW} , in mm berekend volgens Penman.

(Bron: Klimatologische gegevens van Nederlandse stations No. 10 Normalen en standaardafwijkingen voor het tijdvak 1951-1980. Kon. Ned. Meteorologisch Instituut, 1982)

station	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	WI	LE	ZO	HE	WI ZO h.jr. h.jr.	JAAR
Lelystad	4	13	42	71	108	122	114	92	61	27	9	2	19	220	328	96	568 97	663
Winterswijk	4	14	43	70	104	116	109	92	59	28	9	3	21	218	316	96	550 101	650
Hoorn NH	6	15	43	71	110	125	118	98	65	30	12	5	26	223	341	108	587 111	697
Oudenbosch	5	15	43	73	110	123	117	97	63	30	10	3	24	226	337	103	583 106	689
Gemert	5	15	45	75	111	122	116	96	61	29	9	3	23	231	333	99	581 106	687
H.v.Holl.MP	7	15	43	72	108	121	116	96	62	30	12	6	28	223	333	103	575 113	686
Andel	4	14	43	72	106	122	114	93	60	28	8	2	19	221	329	96	567 99	666
Dedemsvaart	2	11	39	67	102	115	107	86	53	22	5	0	13	208	308	81	530 79	610
Urk	4	13	40	69	105	121	113	92	60	27	9	2	19	215	326	96	560 95	655
Venlo	5	15	45	73	107	120	113	95	61	31	10	4	24	224	328	102	569 110	678
Valkenb. ZH	6	14	42	70	105	121	116	95	61	30	12	6	27	217	332	103	568 110	679
De Kooy	8	16	41	70	109	126	122	105	71	36	18	9	33	220	352	124	603 128	730
Schiphol	5	15	44	74	111	123	116	96	62	29	10	4	25	229	335	100	582 107	689
De Bilt	2	13	42	71	105	119	111	90	57	25	7	1	16	217	320	89	553 90	642
Leeuwarden	4	12	38	67	104	119	112	90	57	27	8	2	18	209	320	93	549 91	640
Deelen	4	14	43	73	109	118	111	92	60	28	8	2	21	225	321	96	563 99	662
Eelde	3	12	39	67	103	119	109	88	57	25	7	2	17	209	316	89	543 88	632
Twente	3	12	40	68	102	114	106	88	56	25	7	1	16	210	308	88	534 88	622
Vlissingen	8	16	44	73	110	125	121	102	70	35	15	8	32	227	348	120	601 126	727
R'dam LH	5	14	42	70	107	120	114	93	60	28	9	3	21	219	327	97	564 101	664
Gilze-R. vib	5	14	44	74	109	123	117	96	62	29	9	3	22	226	336	101	581 104	685
Eindhoven	5	15	45	75	112	123	117	96	62	30	9	3	23	232	336	100	585 107	690
Beek L.	6	16	44	73	107	120	114	94	62	31	11	4	26	223	329	105	570 112	683

2.7.3. Decadegegevens van enkele stations (vanaf 1971)

De in de navolgende tabellen vermelde gegevens zijn berekend op basis van gegevens vermeld in de jaarboeken Regenwaarnemingen 1971 t/m 1987 (K.N.M.I. publikatie nr. 117); de maandoverzichten van de neerslag in Nederland; de maandelijks overzichten van de weersgesteldheid (1971 t/m 1980) en de maandoverzichten van het weer in Nederland (1981 t/m 1987). De genoemde maandoverzichten worden uitgegeven door het K.N.M.I.

In onderstaand schema is een overzicht gegeven van de in deze paragraaf opgenomen waarnemingsreeksen.

Reeks	Soort gegevens	Tabel nr.	blz.
Beek (L)	Neerslagsom	2.7.6.a	390
	Openwaterverdamping	2.7.6.b	391
	Neerslagoverschot	2.7.6.c	392
De Bilt	Neerslagsom	2.7.7.a	393
	Openwaterverdamping	2.7.7.b	394
	Neerslagoverschot	2.7.7.c	395
Eindhoven	Neerslagsom	2.7.8.a	396
	Openwaterverdamping	2.7.8.b	397
	Neerslagoverschot	2.7.8.c	398
De Kooy (N.H.)	Neerslagsom	2.7.9.a	399
	Openwaterverdamping	2.7.9.b	400
	Neerslagoverschot	2.7.9.c	401
Leeuwarden (vlb)	Neerslagsom	2.7.10.a	402
	Openwaterverdamping	2.7.10.b	403
	Neerslagoverschot	2.7.10.c	404
Ouderbosch	Neerslagsom	2.7.11.a	405
	Openwaterverdamping	2.7.11.b	406
	Neerslagoverschot	2.7.11.c	407
Twent (vlb)	Neerslagsom	2.7.12.a	408
	Openwaterverdamping	2.7.12.b	409
	Neerslagoverschot	2.7.12.c	410

Tabel 2.7.6a Neerslagsom in mm per decade

Station: **Beek (L)**

JAAR		1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987
Decade																		
JAN	1	5	7	2	18	14	30	19	13	20	27	43	22	23	42	23	13	47
	2	3	15	2	26	7	18	18	5	10	0	61	3	25	37	5	56	2
	3	46	19	19	23	32	39	17	17	13	10	2	23	17	29	37	15	1
FEB	1	13	10	8	45	8	1	40	21	20	39	24	7	40	97	27	3	15
	2	19	6	41	3	18	28	32	9	17	6	5	9	0	0	0	3	45
	3	4	1	33	3	0	1	24	2	6	5	2	1	24	2	0	0	23
MRT	1	8	8	9	14	18	2	2	4	27	4	50	19	6	11	4	14	25
	2	16	16	2	35	29	6	14	42	44	12	24	35	17	3	27	6	27
	3	12	29	16	10	46	16	25	51	21	40	26	4	48	7	16	70	42
APR	1	1	34	38	0	31	8	36	0	8	28	4	28	17	17	25	16	3
	2	1	20	32	0	26	5	18	25	7	2	3	5	12	6	30	19	15
	3	30	4	10	16	4	5	27	17	50	19	10	4	31	0	10	14	7
MEI	1	1	11	39	3	16	7	18	45	11	17	32	40	25	60	10	37	16
	2	8	52	11	18	2	10	20	21	14	0	25	26	14	26	24	11	44
	3	51	29	30	17	0	15	7	2	32	17	26	27	83	86	5	14	22
JUN	1	4	22	22	22	15	19	42	14	7	19	33	11	19	36	33	35	36
	2	54	13	3	11	11	1	48	7	34	14	14	22	4	2	38	6	54
	3	52	29	6	43	32	3	15	39	7	37	98	36	92	11	53	14	40
JUL	1	0	85	0	42	51	0	0	52	5	43	25	9	17	1	9	22	3
	2	0	0	33	20	47	22	29	4	23	58	6	24	50	69	25	4	15
	3	32	41	27	15	10	39	30	5	3	70	24	5	15	2	55	10	46
AUG	1	13	30	14	19	6	13	3	17	73	26	30	10	30	23	49	5	21
	2	25	39	0	36	41	0	68	4	9	15	19	27	0	7	10	17	7
	3	28	1	8	12	14	5	28	12	21	45	10	22	12	5	3	27	24
SEP	1	1	15	4	46	3	33	10	4	19	29	16	8	20	88	24	11	20
	2	0	46	7	41	15	18	0	15	0	5	20	4	18	34	11	40	8
	3	11	2	22	28	29	45	3	21	3	5	34	17	7	21	4	0	38
OKT	1	9	0	5	26	4	23	37	8	8	31	32	93	13	67	13	0	26
	2	23	1	42	39	6	11	2	3	22	25	39	46	17	18	0	7	14
	3	2	14	25	76	1	4	6	20	7	20	35	11	2	20	0	80	12
NOV	1	8	5	11	13	14	40	46	5	71	1	6	4	1	1	25	10	4
	2	39	44	25	20	35	15	36	7	7	24	20	30	2	13	12	22	60
	3	32	8	21	68	43	27	29	11	14	23	33	14	49	52	20	12	38
DEC	1	6	15	30	25	12	37	16	20	44	20	70	22	17	1	27	9	0
	2	5	6	52	45	3	15	14	18	49	27	27	19	3	20	14	38	22
	3	5	0	15	38	6	6	32	62	22	13	15	18	26	11	26	43	6
Som		567	677	664	916	649	567	811	622	748	776	943	705	796	925	694	703	828

Tabel 2.7.6b Openwaterverdamping in mm per decade berekend volgens Penman (E_o^{MOW})

Station: Beek (L)

JAAR	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987
Decade																	
JAN 1	0	0	0	2	1	5	0	1	1	0	2	3	1	2	2	0	1
2	1	2	1	6	7	3	1	2	0	0	1	0	2	3	1	1	1
3	5	2	2	4	5	3	3	3	1	3	1	2	5	2	4	2	0
FEB 1	3	5	2	6	3	2	5	3	4	7	5	4	5	4	5	2	3
2	6	6	6	8	6	6	7	4	4	5	3	6	5	4	5	4	3
3	5	4	5	5	7	8	7	8	4	6	5	6	7	4	5	5	5
MRT 1	9	13	13	9	11	12	15	11	12	10	10	14	11	9	9	9	12
2	15	22	12	12	9	13	16	15	11	11	16	16	16	14	10	12	13
3	17	22	19	17	15	23	16	18	20	17	25	18	20	20	21	17	19
APR 1	17	19	19	32	15	22	17	22	19	20	18	25	18	14	29	14	
2	28	20	17	30	17	30	22	19	26	32	31	27	26	27	25	21	
3	26	25	29	21	32	30	29	29	20	20	21	25	28	39	23	26	
MEI 1	39	31	30	23	33	43	27	27	29	33	30	24	28	23	24	36	
2	35	24	39	39	32	41	31	27	38	53	39	41	28	28	33	39	
3	35	42	44	41	37	38	52	36	39	38	40	45	27	25	45	46	
JUN 1	35	35	39	38	43	42	32	39	34	34	39	46	45	28	46	32	
2	29	37	47	38	42	50	32	36	38	41	38	34	44	39	29	48	
3	39	32	52	38	32	68	32	30	40	31	35	36	36	40	32	55	
JUL 1	50	34	54	35	44	66	48	26	34	26	39	44	43	41	43	40	
2	43	46	33	32	37	43	35	30	28	25	31	51	48	27	45	36	
3	40	27	34	39	43	35	29	45	38	46	36	31	49	41	40	40	
AUG 1	41	33	41	32	55	35	33	26	31	37	30	31	33	29	33	43	
2	33	26	44	35	32	41	21	30	23	26	30	37	33	33	31	27	
3	29	29	34	33	34	41	25	24	29	31	28	29	39	33	34	27	
SEP 1	25	24	31	27	22	23	22	18	26	28	27	27	29	20	23	21	
2	20	15	25	21	24	20	18	18	25	24	19	24	19	14	21	16	
3	16	14	16	17	23	17	15	14	17	16	19	20	19	14	17	17	
OKT 1	14	15	13	9	13	15	14	11	15	13	16	10	14	10	19	13	
2	12	8	8	7	9	11	10	9	9	8	8	11	13	8	8	10	
3	9	8	8	6	6	7	8	7	10	10	8	8	6	9	6	10	
NOV 1	5	4	6	4	4	6	9	2	6	4	4	6	4	5	7	6	
2	3	4	6	9	2	2	7	4	3	7	5	3	1	3	2	6	
3	1	3	2	4	2	4	2	1	3	5	4	3	1	10	0	2	
DEC 1	0	6	1	2	1	1	0	0	7	1	1	1	0	2	4	2	
2	2	0	3	3	0	0	0	2	5	3	0	1	0	2	1	1	
3	0	0	1	5	3	1	3	1	2	2	1	0	3	3	0	1	
Som	687	637	736	689	701	807	643	598	651	673	665	709	706	629	682	687	

Tabel 2.7.6c Neerslagoverschot in mm per decade ($P - 0.8E_0^{MOW}$)

Station: **Beek (L)**

JAAR	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987
Decade																	
JAN 1	5	7	2	16	13	26	19	12	19	27	41	20	22	40	21	13	46
2	2	13	1	22	2	16	17	3	10	0	60	3	23	35	4	56	1
3	42	18	17	20	28	37	14	14	12	8	1	21	13	27	33	14	1
FEB 1	11	6	6	40	5	0	36	19	17	33	20	4	36	94	23	1	13
2	14	1	36	-3	13	23	27	6	14	2	3	4	-4	-3	-4	0	42
3	0	-3	29	-1	-6	-5	18	-4	3	0	-3	-4	18	-1	-4	-4	19
MRT 1	1	-3	-2	7	9	-7	-10	-5	18	-4	42	8	-3	4	-3	7	15
2	4	-2	-8	26	22	-4	1	30	36	3	11	22	4	-8	19	-3	16
3	-2	11	0	-4	34	-2	12	37	5	27	6	-11	32	-9	-1	57	26
APR 1	-12	19	23	-26	19	-10	23	-18	-8	12	-11	8	3	5	1	5	
2	-21	4	18	-24	12	-19	0	10	-14	-23	-22	-17	-9	-15	10	2	
3	9	-16	14	-1	-22	-19	4	-6	34	3	-7	-16	8	-31	-8	-7	
MEI 1	-31	-14	15	-15	-10	-27	-3	23	-13	-9	8	21	3	42	-9	8	
2	-20	33	-20	-13	-24	-23	-5	-1	-16	-42	-6	-7	-8	4	-2	-21	
3	23	-5	-5	-16	-30	-16	-34	-27	1	-13	-6	-9	61	66	-31	-23	
JUN 1	-24	-7	-9	-9	-20	-15	16	-17	-20	-8	2	-26	-18	14	-3	10	
2	31	-17	-35	-20	-23	-39	23	-22	3	-19	-17	-5	-32	-30	15	-33	
3	21	3	-35	13	6	-51	-11	15	-25	12	70	7	63	-21	27	-30	
JUL 1	-40	58	-43	14	16	-53	-38	31	-23	22	-6	-26	-17	-32	-25	-10	
2	-34	-37	6	-6	17	-13	1	-20	1	38	-19	-17	12	48	-11	-25	
3	0	20	0	-16	-24	11	7	-31	-28	33	-4	-20	-24	-30	23	-22	
AUG 1	-20	3	-19	-7	-38	-15	-24	-4	48	-4	6	-15	4	0	23	-29	
2	-1	18	-35	8	15	-33	51	-20	-9	-6	-5	-3	-26	-20	-15	-5	
3	5	-23	-19	-15	-14	-28	8	-8	-3	20	-12	-1	-19	-22	-24	6	
SEP 1	-19	-5	-21	24	-15	14	-8	-10	-2	6	-6	-14	-3	72	6	-6	
2	-16	34	-13	24	-5	2	-14	0	-20	-15	5	-15	3	23	-6	27	
3	-2	-10	9	14	10	31	-9	10	-11	-8	19	1	-9	10	-10	-14	
OKT 1	-2	-12	-5	19	-6	11	26	-1	-4	21	19	85	2	59	-2	-10	
2	13	-6	36	33	-1	2	-6	-4	15	19	33	37	6	12	-6	-1	
3	-6	7	19	71	-4	-1	0	14	-1	12	28	4	-3	13	-5	72	
NOV 1	4	1	6	10	11	36	39	3	66	-3	2	-1	-3	-3	20	5	
2	36	41	21	13	33	14	31	4	5	18	16	28	1	11	10	17	
3	31	5	20	65	42	24	27	11	12	19	30	11	49	44	20	10	
DEC 1	6	10	29	23	11	36	16	20	38	19	70	22	17	0	24	7	
2	3	6	49	43	3	15	14	16	45	25	27	18	3	19	13	37	
3	5	0	14	34	4	5	30	61	21	12	14	18	24	8	26	42	
Som	16	158	73	363	83	-77	298	141	226	237	409	135	229	425	149	153	

Tabel 2.7.7a Neerslagsom per decade in mm

Station: De Bilt

JAAR	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987
Decade																	
JAN 1	4	1	2	19	23	64	22	23	18	29	56	22	45	67	11	34	33
JAN 2	4	12	0	28	19	22	13	26	9	0	52	0	22	43	2	51	0
JAN 3	47	28	24	14	40	22	37	18	31	21	6	23	19	36	28	28	5
FEB 1	10	16	14	20	5	4	31	17	23	67	24	9	50	68	2	0	12
FEB 2	27	12	54	6	18	13	26	2	27	4	6	5	0	1	0	0	11
FEB 3	5	4	10	5	0	0	39	6	7	2	1	0	10	5	1	1	16
MRT 1	8	11	17	17	16	5	5	8	36	20	52	30	2	17	8	11	31
MRT 2	30	4	1	36	18	10	21	39	30	32	72	32	23	8	10	2	26
MRT 3	11	17	3	9	39	21	15	34	32	19	20	3	64	40	23	65	35
APR 1	0	34	39	0	27	6	32	0	18	38	0	14	24	9	27	7	22
APR 2	8	21	15	1	24	2	19	25	11	7	3	5	22	5	34	12	19
APR 3	12	7	12	9	11	2	11	13	51	12	7	3	48	0	10	17	30
MEI 1	4	17	41	2	29	4	21	10	42	1	36	18	57	18	8	34	17
MEI 2	57	29	19	21	5	10	35	14	13	0	11	4	31	15	19	8	48
MEI 3	28	36	48	31	0	12	5	1	65	4	49	15	43	56	10	8	41
JUN 1	1	20	28	47	17	14	13	7	44	12	17	7	24	40	26	36	44
JUN 2	67	16	0	30	25	19	15	3	37	32	13	50	2	5	43	5	14
JUN 3	26	32	5	10	44	20	11	59	12	56	36	35	10	17	26	5	20
JUL 1	0	45	4	41	3	0	1	63	7	73	31	2	3	19	2	9	1
JUL 2	0	5	27	25	8	9	12	2	10	62	20	21	0	53	22	1	65
JUL 3	24	51	35	18	14	34	50	1	17	13	54	2	20	2	63	38	102
AUG 1	12	34	29	40	0	5	12	13	26	3	9	9	19	7	30	8	19
AUG 2	10	24	0	36	15	6	36	5	6	34	14	24	4	0	46	6	26
AUG 3	18	2	35	3	26	6	49	21	25	26	7	21	11	1	13	70	40
SEP 1	1	20	9	62	2	40	4	10	12	8	3	5	11	47	29	16	4
SEP 2	0	18	11	21	40	19	6	11	11	31	41	2	107	36	12	20	41
SEP 3	23	1	57	57	24	5	1	35	5	3	8	18	3	65	8	0	17
OKT 1	0	0	12	52	5	20	48	19	3	38	58	72	13	46	23	2	47
OKT 2	18	3	70	20	7	16	3	12	36	16	68	31	24	25	2	41	33
OKT 3	1	31	19	71	1	8	3	11	4	32	61	6	4	46	5	93	24
NOV 1	12	13	27	15	15	7	57	5	63	10	4	6	0	6	52	14	2
NOV 2	21	46	20	48	39	11	54	5	13	42	26	46	4	15	33	53	74
NOV 3	38	26	27	55	44	22	61	22	2	31	30	19	84	45	14	21	25
DEC 1	6	18	29	26	13	50	6	7	31	28	64	24	44	3	29	7	1
DEC 2	7	4	31	58	5	21	10	45	51	44	16	38	5	8	15	36	46
DEC 3	21	0	7	44	9	17	12	54	46	17	19	18	41	18	43	76	14
Som	561	658	781	997	630	546	796	646	874	867	994	639	893	892	729	835	1005

Tabel 2.7.7b Openwaterverdamping in mm per decade berekend volgens Penman (E_o^{MOW})

Station: De Bilt

JAAR	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987
Decade																	
JAN 1	0	0	0	0	1	5	0	1	0	0	0	0	2	2	0	0	1
2	1	2	1	4	3	4	0	1	0	0	0	0	4	3	0	3	1
3	5	2	2	1	4	2	0	2	0	2	0	1	4	1	1	3	0
FEB 1	4	4	2	5	3	2	4	3	2	4	3	3	3	5	4	4	3
2	6	5	5	7	5	6	6	4	4	5	3	5	4	3	5	5	4
3	7	5	5	5	8	6	5	6	3	6	5	5	7	4	4	5	5
MRT 1	10	12	11	9	10	12	14	11	12	9	8	11	9	9	7	9	11
2	14	20	14	12	11	13	15	15	11	12	11	15	13	15	11	11	13
3	17	22	18	21	17	19	18	17	19	17	21	17	16	17	17	19	16
APR 1	19	22	22	32	17	20	18	21	19	18	18	22	16	13	22	18	
2	23	22	20	30	18	30	22	22	26	30	29	27	23	23	20	19	
3	31	27	26	24	26	31	27	27	21	20	22	25	24	41	26	25	
MEI 1	42	33	28	25	31	40	25	27	28	39	29	29	26	24	24	34	
2	39	29	39	41	32	39	35	30	36	52	36	40	26	32	33	38	
3	37	41	40	37	40	38	60	39	36	36	36	43	26	26	42	42	
JUN 1	40	33	35	39	44	45	33	43	37	39	39	48	44	28	41	30	
2	30	40	46	45	45	43	34	42	34	36	32	30	44	39	32	51	
3	41	33	55	36	41	65	32	29	39	32	28	37	41	36	29	55	
JUL 1	53	31	49	34	47	66	48	26	36	25	36	41	45	37	42	43	
2	40	50	30	33	37	40	38	33	30	27	32	51	45	28	38	36	
3	35	28	35	39	44	35	32	45	36	44	34	41	43	38	37	35	
AUG 1	33	31	37	32	60	35	27	25	31	33	32	36	31	30	29	36	
2	29	29	41	32	36	41	23	31	23	25	29	32	32	33	28	31	
3	32	31	34	34	35	43	29	27	30	27	25	26	36	34	29	24	
SEP 1	29	22	23	22	23	21	21	21	23	24	25	23	23	21	21	19	
2	19	18	24	19	21	18	20	21	19	21	17	21	18	13	18	18	
3	15	15	14	13	22	17	14	13	17	14	17	17	17	12	15	14	
OKT 1	13	15	11	9	12	12	13	10	12	11	12	9	13	9	13	11	
2	12	9	7	6	8	9	8	8	7	7	6	9	11	9	7	11	
3	8	7	6	6	5	6	6	6	9	7	5	6	4	8	5	8	
NOV 1	5	3	4	3	2	5	6	2	3	3	3	6	2	4	5	5	
2	3	3	5	4	1	2	5	3	1	5	2	3	1	2	1	3	
3	2	2	0	2	1	3	1	1	2	4	4	2	1	3	0	2	
DEC 1	1	4	0	3	1	0	0	1	3	0	0	0	0	0	2	1	
2	2	0	2	3	0	0	0	1	2	2	0	1	0	0	2	2	
3	0	0	0	2	1	0	4	1	1	2	0	0	2	0	0	1	
Som	697	650	691	669	712	773	643	615	612	638	599	682	656	602	610	671	

Tabel 2.7.7c Neerslagoverschot in mm per decade ($P - 0.8E_o^{MOW}$)

Station: **De Bilt**

JAAR	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987
Decade																	
JAN 1	4	1	2	19	23	60	22	22	18	29	56	22	44	66	11	34	32
2	3	10	-1	25	17	19	13	25	9	0	52	0	19	41	2	48	-1
3	43	27	23	13	37	20	37	16	31	19	6	23	16	36	27	25	5
FEB 1	6	13	12	16	3	2	28	15	22	64	21	6	48	64	-1	-3	9
2	22	8	50	0	14	8	21	-1	24	0	3	1	-3	-2	-4	-4	8
3	-1	0	6	1	-6	-5	35	1	4	-3	-3	-4	4	2	-2	-3	12
MRT 1	0	1	8	10	8	-4	-6	-1	26	13	45	21	-5	10	3	3	23
2	19	-12	-10	27	9	0	9	27	21	22	63	20	13	-4	1	-7	15
3	-3	-1	-11	-8	25	6	1	20	16	5	3	-10	51	26	10	49	22
APR 1	-15	16	21	-26	13	-10	18	-17	3	24	-14	-4	11	-2	10	-8	
2	-10	3	-1	-23	10	-22	1	7	-10	-17	-21	-16	3	-13	18	-3	
3	-13	-15	-9	-10	-10	-23	-11	-9	34	-4	-10	-17	28	-33	-11	-3	
MEI 1	-30	-9	19	-18	4	-28	1	-12	20	-30	13	-5	36	-1	-12	7	
2	26	6	-12	-12	-21	-21	7	-10	-16	-42	-18	-29	10	-11	-8	-23	
3	-1	3	16	1	-32	-18	-43	-30	36	-25	20	-20	23	36	-24	-25	
JUN 1	-31	-6	0	16	-18	-22	-13	-27	14	-19	-14	-31	-11	18	-6	12	
2	43	-16	-37	-6	-11	-15	-12	-31	10	3	-13	26	-34	-26	17	-35	
3	-7	6	-39	-19	11	-32	-15	36	-19	30	14	5	-23	-12	2	-39	
JUL 1	-42	20	-35	14	-35	-53	-37	42	-22	53	2	-31	-33	-10	-31	-25	
2	-32	-35	3	-1	-22	-23	-18	-24	-14	40	-6	-19	-36	30	-8	-28	
3	-4	29	7	-13	-21	6	24	-35	-12	-22	26	-31	-14	-28	33	10	
AUG 1	-14	9	-1	14	-48	-23	-10	-7	1	-23	-17	-20	-6	-17	6	-21	
2	-13	1	-33	10	-14	-27	18	-20	-12	14	-9	-2	-21	-26	23	-18	
3	-8	-23	8	-24	-2	-28	26	-1	1	4	-13	0	-18	-26	-11	50	
SEP 1	-22	2	-9	44	-16	23	-13	-7	-6	-11	-17	-14	-7	30	12	1	
2	-15	4	-8	6	23	5	-10	-6	-4	14	27	-15	93	26	-2	6	
3	11	-11	46	47	6	-9	-10	25	-9	-8	-5	4	-11	55	-4	-11	
OKT 1	-10	-12	3	45	-4	10	38	11	-7	29	49	65	3	39	12	-6	
2	9	-5	64	15	0	8	-3	6	30	10	64	24	15	17	-4	32	
3	-6	26	14	66	-3	3	-2	6	-4	26	57	1	0	39	1	87	
NOV 1	8	11	23	13	13	3	53	4	60	7	2	1	-2	2	48	10	
2	19	44	16	44	38	9	50	2	12	38	25	43	3	13	32	51	
3	37	24	27	54	43	19	60	21	0	28	27	17	83	42	14	19	
DEC 1	5	14	29	23	12	50	6	7	29	28	64	24	44	3	28	6	
2	5	4	29	56	5	21	10	45	50	42	16	37	5	8	13	34	
3	21	0	7	42	8	17	9	54	46	15	19	18	40	18	43	75	
Som	4	137	227	461	59	-74	284	154	382	353	514	90	368	410	238	297	

Tabel 2.7.8a Neerslagsom per decade in mm

Station: Eindhoven

JAAR	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987
Decade																	
JAN 1	2	1	1	18	17	40	22	19	19	29	52	39	36	44	19	30	41
2	3	14	1	30	13	14	20	12	19	0	55	0	23	44	5	65	1
3	47	22	22	15	38	20	18	17	16	15	6	27	17	29	37	34	6
FEB 1	5	16	6	58	9	2	28	20	19	68	23	5	46	64	10	2	9
2	19	12	39	3	14	17	27	3	33	3	6	4	1	0	0	0	32
3	8	1	26	3	0	1	19	3	9	2	0	1	10	8	1	0	11
MRT 1	10	10	13	17	17	3	2	10	41	7	52	33	9	13	10	14	24
2	21	9	2	42	23	9	21	29	66	15	34	34	18	5	8	1	31
3	21	21	6	7	44	13	15	64	34	32	25	3	62	30	29	76	52
APR 1	3	29	38	0	21	4	30	0	16	33	4	2	33	15	29	11	3
2	26	18	18	0	21	2	20	10	8	6	3	11	8	11	50	22	16
3	30	4	11	14	7	0	14	17	43	12	5	4	41	0	16	24	0
MEI 1	2	5	40	2	15	7	27	60	31	3	29	19	29	25	14	29	4
2	51	12	13	15	3	13	35	16	11	0	14	7	29	28	23	9	34
3	63	47	11	17	0	27	6	2	59	7	37	14	70	67	13	20	43
JUN 1	4	40	28	16	17	6	36	14	26	10	13	27	28	40	40	43	36
2	82	7	0	10	17	8	14	11	24	12	7	30	0	4	43	21	40
3	39	20	6	27	51	4	35	45	12	48	71	23	23	34	66	7	17
JUL 1	0	89	4	37	21	0	0	56	5	55	6	10	14	3	2	17	5
2	0	2	59	13	22	20	28	8	4	50	10	5	0	63	3	2	44
3	31	37	29	18	11	5	12	14	27	93	42	5	15	2	39	22	51
AUG 1	14	35	5	41	6	21	0	12	50	9	7	11	8	13	38	11	23
2	35	22	0	20	33	0	110	12	12	9	20	29	1	4	47	8	7
3	13	1	12	6	19	27	65	21	6	39	8	26	7	0	9	81	38
SEP 1	1	18	11	58	3	36	9	7	34	11	0	9	14	57	40	7	6
2	2	31	7	13	27	15	0	6	1	13	39	0	90	45	14	40	30
3	29	1	27	38	39	15	1	38	1	9	27	22	3	44	3	0	11
OKT 1	6	0	6	22	12	12	40	22	3	20	37	60	9	57	19	0	53
2	17	3	47	19	5	16	2	2	15	29	44	57	23	23	2	5	23
3	5	26	19	53	0	3	2	16	2	21	36	4	2	37	1	73	13
NOV 1	15	4	14	16	8	30	56	4	76	1	5	4	1	3	38	11	0
2	34	44	18	31	39	15	54	3	7	30	29	45	2	18	24	30	64
3	30	20	18	61	32	25	57	21	8	14	34	20	69	40	17	13	42
DEC 1	7	13	27	27	12	38	11	26	23	20	58	33	18	1	26	10	0
2	10	6	40	48	4	11	13	31	75	28	15	43	6	13	18	38	23
3	4	1	7	36	6	8	23	55	31	16	25	16	19	8	33	73	10
Som	689	641	631	851	626	487	872	706	866	769	878	682	784	892	786	849	843

Tabel 2.7.8b Openwaterverdamping in mm per decade berekend volgens Penman (E_o^{MOW})
 Station: **Eindhoven (tot 1981 Gemert)**

JAAR	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987
Decade																	
JAN 1	0	1	0	1	2	5	0	2	0	0	2	3	3	3	0	0	2
2	1	3	1	6	6	4	0	2	0	0	1	0	7	5	0	4	1
3	5	3	2	3	5	5	2	4	1	3	1	2	5	3	1	3	0
FEB 1	4	4	2	5	2	3	4	3	4	6	6	5	4	6	4	4	3
2	6	6	5	9	6	7	7	4	4	6	4	7	6	5	4	6	4
3	6	5	5	5	7	7	5	7	3	7	6	6	9	5	4	6	5
MRT 1	10	12	11	9	11	13	16	11	13	10	10	15	11	10	8	10	12
2	16	22	13	13	10	13	17	15	12	12	16	18	16	16	10	13	13
3	17	23	18	18	16	23	18	18	21	18	25	17	19	19	18	20	17
APR 1	18	22	21	35	17	20	20	22	19	21	19	26	19	14	23	19	
2	28	21	20	31	18	31	24	21	29	35	34	28	28	27	22	20	
3	29	29	26	22	29	33	32	29	22	23	25	29	26	45	25	24	
MEI 1	43	31	28	24	35	42	26	27	28	39	32	27	29	26	22	37	
2	36	25	39	42	34	42	35	30	38	57	40	41	29	32	34	39	
3	37	44	41	41	42	40	59	39	41	38	41	48	28	25	45	45	
JUN 1	38	36	39	40	45	44	35	41	36	38	33	47	45	30	44	35	
2	27	38	47	42	42	45	33	42	36	43	39	34	50	40	32	52	
3	38	34	52	40	36	66	33	32	39	31	34	37	39	42	30	55	
JUL 1	52	31	52	38	48	70	49	26	35	28	41	41	47	40	44	42	
2	44	50	31	34	36	40	38	32	30	26	31	53	52	29	41	37	
3	37	29	35	38	42	36	32	45	38	47	37	38	49	42	39	37	
AUG 1	40	32	38	30	55	39	31	27	32	36	30	34	37	30	32	39	
2	33	29	43	35	32	44	22	30	24	26	30	36	34	33	31	27	
3	32	30	35	34	33	40	27	28	29	29	27	28	38	34	34	25	
SEP 1	27	22	26	25	22	22	22	21	23	25	26	27	27	20	22	21	
2	18	16	22	20	22	18	18	20	20	23	19	22	19	13	20	16	
3	14	14	14	17	22	15	15	13	18	15	18	20	19	13	16	15	
OKT 1	12	13	12	10	12	14	14	10	15	13	16	10	16	11	16	12	
2	12	8	7	6	8	10	8	8	8	7	8	11	15	8	7	11	
3	8	7	6	6	5	6	6	6	11	8	7	8	6	8	5	9	
NOV 1	4	3	5	3	3	4	8	2	5	4	4	8	3	4	4	5	
2	2	3	6	7	2	1	7	4	1	6	4	4	2	2	2	4	
3	1	3	1	3	1	3	2	1	2	5	6	3	2	5	0	1	
DEC 1	0	5	1	3	1	0	1	1	6	1	1	2	0	0	3	2	
2	1	0	3	4	0	1	0	1	3	2	1	3	1	0	1	2	
3	0	0	1	6	3	0	4	1	1	1	1	0	5	0	0	1	
Som	696	654	708	705	710	806	670	625	647	689	675	738	745	645	643	698	

Tabel 2.7.8c Neerslagoverschot in mm per decade ($P - 0.8E_0^{MOW}$)

Station: **Eindhoven (tot 1981 Gemert)**

JAAR	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987
Decade																	
JAN 1	2	0	1	17	15	36	22	17	19	29	50	37	34	42	19	30	39
2	2	12	0	25	8	11	20	10	19	0	54	0	18	40	5	62	0
3	43	20	20	13	34	16	16	14	15	13	5	25	13	26	37	32	6
FEB 1	2	13	4	54	7	0	25	18	16	63	18	1	43	60	7	-2	6
2	14	7	35	-4	9	11	21	0	30	-2	3	-2	-4	-4	-3	-5	29
3	3	-3	22	-1	-6	-5	15	-3	7	-4	-5	-4	3	4	-3	-5	7
MRT 1	2	0	4	10	8	-7	-11	1	31	-1	44	21	0	5	3	6	15
2	8	-9	-8	32	15	-1	7	17	56	5	21	20	5	-7	0	-10	20
3	7	3	-8	-7	31	-5	1	50	17	18	5	-11	47	14	15	60	39
APR 1	-11	11	21	-28	7	-12	14	-18	1	16	-11	-19	18	4	11	-5	
2	4	1	2	-25	7	-23	1	-7	-15	-22	-24	-11	-15	-11	33	6	
3	7	-19	-10	-4	-16	-26	-12	-6	25	-6	-15	-19	20	-36	-4	4	
MEI 1	-32	-20	18	-17	-13	-27	6	38	9	-28	3	-3	6	4	-4	0	
2	22	-8	-18	-19	-24	-21	7	-8	-19	-46	-18	-26	5	2	-4	-22	
3	33	12	-22	-16	-34	-5	-41	-29	26	-23	4	-24	47	47	-23	-16	
JUN 1	-26	11	-3	-16	-19	-29	8	-19	-3	-20	-13	-11	-9	16	5	15	
2	60	-23	-38	-24	-17	-28	-12	-23	-5	-22	-24	3	-40	-29	18	-21	
3	9	-7	-36	-5	22	-49	9	19	-19	23	44	-7	-8	0	42	-37	
JUL 1	-42	64	-38	7	-17	-56	-39	35	-23	33	-27	-23	-24	-29	-33	-17	
2	-35	-38	34	-14	-7	-12	-2	-18	-20	29	-15	-37	-42	40	-30	-28	
3	1	14	1	-12	-23	-24	-14	-22	-3	55	12	-25	-25	-31	8	-8	
AUG 1	-18	9	-25	17	-38	-10	-25	-10	24	-20	-17	-16	-22	-11	12	-20	
2	9	-1	-34	-8	7	-35	92	-12	-7	-12	-4	0	-26	-22	22	-14	
3	-13	-23	-16	-21	-7	-5	43	-1	-17	16	-14	4	-24	-27	-18	61	
SEP 1	-21	0	-10	38	-15	18	-9	-10	16	-9	-21	-13	-8	41	22	-10	
2	-12	18	-11	-3	9	1	-14	-10	-15	-5	24	-18	75	35	-2	27	
3	18	-10	16	24	21	3	-11	28	-13	-3	13	6	-12	34	-10	-12	
OKT 1	-4	-10	-4	14	2	1	29	14	-9	10	24	52	-4	48	6	-9	
2	7	-3	41	14	-1	8	-4	-4	9	23	38	48	11	17	-4	-4	
3	-1	20	14	48	-4	-2	-3	11	-7	15	30	-2	-3	30	-3	66	
NOV 1	12	2	10	14	6	27	50	2	72	-2	2	-2	-1	0	35	7	
2	32	42	13	25	37	14	48	0	6	25	26	42	0	16	22	27	
3	29	18	17	59	31	23	55	20	6	10	29	18	68	36	17	12	
DEC 1	7	9	26	25	11	38	10	25	18	19	57	31	18	1	24	9	
2	9	6	38	45	4	10	13	30	73	26	14	41	6	13	17	36	
3	4	1	6	31	4	8	20	54	30	15	24	16	15	8	33	72	
Som	131	119	62	288	54	-157	335	203	350	218	336	92	185	376	272	287	

Tabel 2.7.9a Neerslagsom per decade in mm

Station: De Kooy (N.H.)

JAAR		1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987
Decade																		
JAN	1	11	1	3	10	12	74	25	18	17	21	46	37	38	40	59	31	44
	2	5	15	2	31	30	11	28	22	16	0	36	0	25	40	7	39	0
	3	58	17	23	12	57	20	21	30	26	29	7	25	17	21	48	15	5
FEB	1	12	9	15	21	7	7	30	18	17	45	24	18	30	42	2	1	18
	2	27	8	50	8	19	12	23	5	25	1	6	4	2	0	0	0	4
	3	5	3	8	6	0	2	15	11	4	0	1	0	11	6	2	3	11
MRT	1	10	13	8	15	24	2	4	5	22	21	37	33	1	20	14	5	25
	2	26	0	1	28	12	7	18	37	35	22	67	21	19	3	13	1	16
	3	5	16	2	1	27	11	19	28	28	24	18	3	56	40	22	44	22
APR	1	0	28	34	0	28	2	14	0	18	9	0	15	19	15	20	7	5
	2	7	20	15	0	24	1	9	20	12	5	1	5	17	4	13	30	12
	3	10	9	5	8	8	1	20	6	30	7	7	1	17	0	9	16	4
MEI	1	9	7	19	1	11	2	21	14	25	0	10	24	39	8	8	26	5
	2	17	16	19	15	6	5	13	6	7	0	8	1	26	12	7	5	23
	3	18	19	15	5	3	12	0	0	40	5	41	1	35	76	24	18	16
JUN	1	0	26	16	16	12	3	17	7	23	9	3	10	14	35	45	36	32
	2	54	24	0	3	32	15	8	2	46	10	10	21	5	8	39	2	6
	3	16	11	3	10	11	0	5	32	11	62	12	88	26	11	32	1	22
JUL	1	0	82	10	27	2	0	1	48	7	43	12	21	2	14	7	35	0
	2	4	0	59	20	20	21	15	1	6	43	10	15	0	17	30	1	102
	3	22	22	21	22	12	24	10	5	15	49	27	0	4	7	49	36	44
AUG	1	22	16	22	8	9	5	14	12	21	118	3	19	7	14	54	14	16
	2	45	11	0	17	18	0	31	2	1	7	12	37	3	1	38	3	10
	3	11	3	9	4	28	25	13	13	44	25	7	42	9	0	26	75	53
SEP	1	1	13	14	84	5	41	6	19	12	4	0	3	39	53	28	26	17
	2	2	25	10	6	76	30	3	22	20	20	40	20	145	26	2	19	27
	3	18	1	82	109	40	7	1	30	12	5	23	41	9	78	6	0	21
OKT	1	0	0	11	55	27	31	39	28	13	37	69	55	31	29	54	2	37
	2	68	3	55	44	2	11	2	15	19	22	48	51	54	14	3	39	73
	3	2	27	21	77	0	14	13	9	2	41	72	19	6	28	0	75	18
NOV	1	27	16	22	17	51	27	59	5	64	16	4	15	0	11	56	32	2
	2	22	79	22	53	47	8	64	13	42	48	36	57	5	19	22	30	78
	3	33	28	75	37	58	27	37	30	9	27	39	22	61	76	22	22	22
DEC	1	5	22	32	14	29	86	6	10	29	36	46	27	36	5	37	6	5
	2	9	5	36	46	8	24	10	27	59	48	9	31	6	21	23	62	37
	3	27	1	6	26	10	16	24	49	57	22	16	14	18	29	27	63	13
Som		608	596	745	856	765	584	638	599	834	881	807	796	832	823	848	820	845

Tabel 2.7.9b Openwaterverdamping in mm per decade berekend volgens Penman (E_o^{MOW})

Station: De Kooy (N.H.)

JAAR	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987
Decade																	
JAN 1	1	2	0	0	4	6	0	5	0	1	4	2	5	8	2	1	5
2	1	2	0	3	6	7	0	1	2	0	5	0	10	11	2	6	4
3	3	5	1	2	10	5	1	3	1	2	0	1	6	3	4	5	1
FEB 1	5	3	3	4	3	3	3	3	2	4	6	4	6	8	7	4	3
2	6	5	6	7	5	6	5	4	4	4	5	6	6	5	6	6	5
3	8	4	6	5	5	6	5	6	3	6	5	5	7	5	3	5	5
MRT 1	11	11	9	8	7	12	13	10	11	10	9	13	9	9	6	8	11
2	12	19	13	10	13	13	14	13	9	11	10	15	13	16	10	8	12
3	19	20	17	17	17	20	17	17	19	16	20	14	18	18	17	17	14
APR 1	14	20	22	25	18	20	19	18	17	20	16	22	18	16	18	19	
2	19	21	21	26	15	24	24	25	24	32	32	26	21	25	20	16	
3	33	31	22	22	23	31	26	25	21	22	24	24	24	39	30	23	
MEI 1	41	29	27	25	28	34	22	27	29	35	29	32	25	26	23	33	
2	35	35	40	38	28	39	39	33	36	53	39	37	28	32	33	39	
3	41	43	34	39	45	36	56	37	35	36	40	44	27	25	43	42	
JUN 1	37	33	33	39	44	42	33	44	36	40	43	47	42	28	40	29	
2	35	40	45	46	43	40	36	44	33	38	33	35	42	40	35	50	
3	43	39	55	35	44	60	31	32	41	35	31	42	45	40	31	55	
JUL 1	48	29	45	34	47	60	45	29	37	26	41	44	41	34	43	42	
2	47	50	33	38	32	40	36	34	37	30	35	48	43	28	40	39	
3	39	34	34	38	42	43	38	44	34	46	39	43	42	37	36	35	
AUG 1	37	31	35	33	53	39	28	29	30	33	33	36	35	33	33	37	
2	34	29	38	31	36	42	25	34	25	28	31	37	34	33	32	34	
3	38	35	31	35	34	39	29	33	31	35	29	30	33	36	32	28	
SEP 1	32	26	23	25	27	24	22	27	23	27	28	24	28	27	25	24	
2	25	18	21	20	20	16	24	29	26	26	19	20	21	19	19	19	
3	16	17	17	15	22	14	15	19	19	16	19	19	17	15	15	15	
OKT 1	18	13	10	12	18	11	15	12	11	21	16	9	16	12	15	11	
2	18	9	9	7	10	9	7	10	9	11	11	10	19	12	9	9	
3	13	8	8	11	5	6	6	11	10	12	8	7	9	12	7	14	
NOV 1	14	5	6	5	4	4	12	3	6	5	8	6	2	5	11	10	
2	9	7	10	6	4	1	12	9	1	8	6	11	4	3	3	4	
3	4	4	3	7	3	7	4	5	3	7	10	4	4	10	2	3	
DEC 1	2	5	2	6	3	4	0	0	3	4	3	2	1	3	3	4	
2	4	0	4	7	0	2	0	2	5	3	0	6	0	3	2	5	
3	3	0	0	6	4	1	5	1	3	3	1	2	4	1	2	6	
Som	765	682	683	687	722	766	667	678	636	706	688	727	705	677	659	705	

Tabel 2.7.9c Neerslagoverschot in mm per decade ($P - 0.8E_0^{MOW}$)

Station: De Kooy (N.H)

JAAR	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987
Decade																	
JAN 1	10	-1	3	10	8	69	25	14	17	20	43	36	34	34	57	30	40
2	4	13	2	29	25	5	28	21	14	0	32	0	17	31	5	34	-3
3	56	13	22	10	49	16	21	28	25	27	7	24	12	18	45	11	4
FEB 1	8	7	12	18	5	4	28	15	15	42	19	15	25	35	-4	-2	16
2	22	4	45	3	15	7	19	1	22	-2	2	-1	-2	-4	-5	-5	-1
3	-2	0	3	2	-4	-3	11	6	1	-5	-3	-4	6	2	0	-1	7
MRT 1	1	5	1	9	18	-7	-7	-4	13	13	30	23	-6	13	10	-1	16
2	16	-15	-9	20	2	-3	7	27	28	13	59	9	9	-10	5	-6	6
3	-10	0	-11	-13	13	-5	5	15	13	11	2	-9	42	26	9	30	11
APR 1	-11	12	16	-20	14	-14	-1	-14	5	-7	-13	-3	4	2	6	-8	
2	-8	3	-2	-21	12	-18	-11	0	-8	-21	-25	-16	0	-16	-3	17	
3	-16	-16	-13	-9	-11	-24	0	-14	13	-11	-13	-18	-2	-31	-15	-2	
MEI 1	-24	-16	-2	-19	-12	-25	3	-8	2	-28	-14	-2	19	-13	-10	-1	
2	-11	-12	-13	-16	-17	-26	-19	-20	-22	-42	-24	-28	3	-13	-19	-26	
3	-15	-15	-12	-26	-33	-17	-45	-30	12	-24	9	-34	13	56	-10	-15	
JUN 1	-29	-1	-11	-16	-23	-31	-10	-28	-6	-23	-32	-27	-20	13	13	13	
2	26	-8	-36	-34	-3	-17	-21	-33	19	-20	-17	-7	-29	-24	11	-38	
3	-19	-20	-41	-18	-24	-48	-20	6	-22	34	-13	54	-11	-21	7	-43	
JUL 1	-38	59	-26	-1	-36	-48	-35	25	-23	22	-21	-14	-31	-13	-27	2	
2	-34	-40	33	-10	-5	-11	-14	-26	-24	19	-18	-23	-34	-6	-2	-31	
3	-9	-6	-6	-8	-22	-11	-21	-30	-12	12	-4	-34	-29	-23	20	8	
AUG 1	-7	-9	-6	-18	-33	-26	-9	-11	-3	92	-23	-10	-21	-12	28	-16	
2	18	-12	-30	-7	-10	-34	11	-25	-20	-15	-13	7	-24	-26	12	-24	
3	-20	-25	-16	-24	1	-7	-10	-14	19	-3	-16	18	-18	-29	1	53	
SEP 1	-25	-7	-5	64	-17	22	-12	-3	-7	-17	-22	-16	17	31	8	6	
2	-18	11	-7	-10	60	18	-16	-1	0	-1	25	4	129	11	-13	4	
3	5	-12	68	97	22	-5	-11	14	-4	-8	8	26	-5	66	-6	-12	
OKT 1	-14	-10	3	46	12	22	27	19	4	20	56	48	19	20	42	-7	
2	54	-4	48	39	-6	4	-4	7	12	13	39	43	39	4	-5	32	
3	-9	20	15	68	-4	9	8	0	-6	32	66	14	-1	18	-5	64	
NOV 1	16	12	17	13	48	24	49	2	60	12	-2	10	-1	7	48	24	
2	15	74	14	48	44	7	55	5	41	42	31	48	2	17	19	27	
3	30	25	73	32	56	22	34	26	7	21	31	19	58	68	21	20	
DEC 1	4	18	31	9	27	83	6	10	26	33	44	25	36	3	34	3	
2	6	5	32	41	8	23	10	26	55	45	9	27	6	19	21	58	
3	25	1	6	22	7	15	20	49	55	20	15	12	15	28	25	58	
Som	-3	53	198	310	186	-30	101	55	321	316	254	216	271	281	323	256	

Tabel 2.7.10a Neerslagsom per decade in mm

Station: Leeuwarden

JAAR	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987
Decade																	
JAN 1	11	0	2	13	12	65	17	30	7	20	35	41	33	57	36	41	45
2	7	7	1	35	25	17	11	14	10	0	32	0	23	68	5	43	2
3	50	16	18	18	48	31	25	24	23	28	1	32	30	14	42	28	5
FEB 1	8	15	12	18	9	4	31	2	11	48	28	15	29	40	2	1	20
2	23	8	36	6	14	21	32	2	16	3	10	4	1	1	0	0	3
3	11	6	18	5	0	3	28	6	1	0	1	0	13	4	3	0	11
MRT 1	13	9	16	5	20	4	2	8	34	11	21	35	2	22	15	4	30
2	19	0	4	21	4	0	17	50	23	18	66	25	25	7	11	0	14
3	14	25	3	3	12	12	7	25	26	18	22	3	72	33	27	46	24
APR 1	4	31	28	0	38	2	14	1	14	7	0	17	18	8	21	7	6
2	6	28	8	0	28	0	12	24	9	9	1	6	17	3	20	15	14
3	7	5	1	6	6	4	35	0	29	8	5	7	31	0	13	12	1
MEI 1	11	7	21	11	24	9	20	6	21	1	9	44	42	8	8	14	5
2	26	23	9	22	16	14	13	13	8	0	27	3	44	11	4	6	45
3	7	38	24	4	6	24	0	0	43	16	17	4	49	56	59	18	13
JUN 1	2	55	21	32	13	9	23	11	37	19	5	9	21	51	18	41	37
2	47	7	1	7	4	17	12	6	22	17	12	43	13	18	50	20	7
3	25	15	21	16	34	0	12	50	25	59	18	65	8	25	30	2	47
JUL 1	0	60	3	34	2	0	4	43	4	44	13	3	0	32	18	30	1
2	5	0	28	21	20	4	17	3	9	75	14	5	0	35	40	2	70
3	46	52	45	22	12	27	28	1	49	5	16	2	10	10	81	26	34
AUG 1	36	31	17	14	0	15	7	42	33	45	3	5	13	17	70	23	24
2	27	14	2	28	8	0	48	7	0	9	17	60	6	0	38	9	13
3	33	3	19	4	18	14	8	18	24	18	11	34	6	0	15	74	47
SEP 1	5	23	10	64	1	37	9	34	36	4	0	3	41	54	29	35	21
2	2	32	13	5	24	14	9	18	17	29	51	32	90	18	7	13	27
3	26	2	75	39	33	5	4	68	13	12	5	22	10	54	6	0	34
OKT 1	0	0	13	36	31	19	50	13	7	47	43	50	53	33	33	1	30
2	53	4	76	23	14	2	1	27	38	16	41	27	53	22	2	22	42
3	7	25	17	60	0	6	6	4	6	49	43	10	5	35	2	75	26
NOV 1	17	19	23	13	20	27	38	2	67	8	5	10	0	4	76	23	2
2	17	66	42	44	36	4	65	12	26	48	37	51	9	4	23	27	70
3	43	18	37	42	45	23	52	31	4	45	35	20	58	84	18	25	25
DEC 1	3	17	36	18	25	38	1	6	30	24	42	27	25	3	45	4	8
2	6	6	46	52	5	21	8	25	67	42	7	43	7	9	27	60	27
3	19	0	5	28	15	11	24	42	31	16	11	20	26	28	15	87	15
Som	636	667	751	769	622	503	690	668	820	818	704	777	883	868	909	834	845

Tabel 2.7.10b Openwaterverdamping in mm per decade berekend volgens Penman (E_o^{MOW})

Station: Leeuwarden (vlb)

JAAR		1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987
Decade																		
JAN	1	1	1	0	0	1	3	0	2	0	0	3	0	2	8	0	0	1
	2	2	3	2	2	1	3	0	2	1	0	2	0	6	7	0	2	1
	3	4	2	2	1	3	1	1	2	0	1	1	0	4	3	2	3	0
FEB	1	5	3	2	3	1	2	2	3	1	2	5	3	3	5	5	3	3
	2	7	4	5	7	3	4	5	3	4	4	5	5	3	5	5	5	4
	3	7	4	5	5	6	5	4	6	3	6	5	5	7	4	3	4	4
MRT	1	10	11	9	9	7	11	14	10	11	9	8	12	11	8	5	8	9
	2	13	21	12	11	11	12	12	12	10	11	10	13	13	13	8	9	12
	3	17	20	17	19	16	18	16	16	17	16	22	13	16	18	16	16	14
APR	1	15	21	23	26	15	20	16	17	16	19	18	23	16	14	17	17	
	2	20	18	23	25	15	24	22	22	26	31	31	23	24	24	20	18	
	3	32	27	22	22	24	28	25	22	20	21	24	23	23	34	26	24	
MEI	1	41	30	25	22	26	35	23	31	26	35	29	30	24	24	23	34	
	2	37	29	37	40	26	38	37	27	37	52	36	34	26	32	33	39	
	3	41	43	35	36	39	33	53	37	36	36	39	45	26	26	42	42	
JUN	1	41	37	30	39	41	43	30	45	36	38	43	47	44	27	38	30	
	2	31	42	46	46	42	43	33	44	32	36	32	34	45	37	33	48	
	3	41	35	54	38	42	61	30	29	44	32	31	38	45	36	31	50	
JUL	1	50	29	47	34	48	60	43	29	35	26	42	43	43	34	39	40	
	2	43	50	31	34	31	40	33	31	36	29	35	46	42	28	37	34	
	3	39	30	33	37	37	40	32	46	32	45	37	42	40	34	34	34	
AUG	1	33	31	36	31	55	33	23	25	30	34	34	39	33	31	29	35	
	2	31	27	37	30	36	40	22	31	25	30	29	33	33	31	29	30	
	3	33	30	29	35	32	38	27	28	29	32	27	27	32	34	30	29	
SEP	1	25	22	22	21	21	20	19	23	23	27	27	23	26	22	22	20	
	2	21	15	19	19	18	15	19	23	21	22	18	19	19	18	18	17	
	3	16	15	12	12	18	14	14	14	17	15	18	18	20	12	15	14	
OKT	1	14	13	9	8	13	10	12	11	13	13	14	10	16	10	12	11	
	2	14	8	7	6	7	8	7	9	7	8	8	9	16	9	8	9	
	3	10	6	6	5	4	5	6	8	10	9	6	6	10	8	5	9	
NOV	1	7	4	5	2	2	3	6	2	3	4	5	6	4	3	5	6	
	2	5	3	8	2	1	1	6	4	1	4	3	5	2	2	1	3	
	3	3	1	1	2	1	3	2	2	1	4	6	2	3	4	0	1	
DEC	1	2	1	1	3	1	0	0	0	2	1	0	0	1	0	1	1	
	2	2	0	3	3	0	1	0	0	2	2	0	1	1	1	1	1	
	3	1	1	0	2	1	0	3	1	0	1	1	1	5	0	1	2	
Som		714	637	655	637	645	715	597	617	607	655	654	678	684	606	594	648	

Tabel 2.7.10c Neerslagoverschot in mm per decade ($P - 0.8E_0^{\text{MOW}}$)

Station: Leeuwarden (vlb)

JAAR	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987
Decade																	
JAN 1	10	-1	2	13	11	63	17	28	7	20	33	41	31	51	36	41	44
2	5	5	-1	33	24	15	11	12	10	0	30	0	19	62	5	41	1
3	47	14	16	17	46	30	24	23	23	27	0	32	27	11	40	26	5
FEB 1	4	13	10	16	8	2	29	-1	10	47	24	13	27	36	-2	-2	17
2	17	5	32	0	12	18	28	0	12	0	6	0	-1	-3	-4	-4	0
3	5	3	14	1	-5	-1	25	2	-1	-5	-3	-4	7	1	1	-3	7
MRT 1	5	0	9	-2	14	-5	-9	0	25	4	15	25	-7	16	11	-2	23
2	9	-17	-6	12	-5	-10	7	41	15	9	58	15	14	-4	4	-7	5
3	0	9	-11	-12	-1	-2	-6	12	12	5	5	-8	59	18	14	33	13
APR 1	-8	14	10	-21	26	-14	1	-13	1	-8	-14	-2	5	-3	8	-7	
2	-10	14	-10	-20	16	-19	-6	7	-12	-16	-24	-13	-3	-17	4	1	
3	-19	-17	-17	-12	-13	-18	15	-18	13	-8	-14	-12	12	-27	-8	-7	
MEI 1	-22	-17	1	-7	3	-19	2	-19	0	-27	-15	20	23	-12	-10	-14	
2	-4	0	-21	-10	-5	-16	-17	-9	-21	-42	-2	-24	23	-15	-23	-25	
3	-26	4	-4	-25	-25	-2	-42	-30	14	-13	-14	-32	28	35	26	-16	
JUN 1	-31	25	-3	1	-20	-25	-1	-25	9	-12	-29	-29	-14	29	-12	17	
2	22	-27	-36	-30	-30	-17	-14	-29	-4	-12	-14	16	-23	-12	24	-19	
3	-8	-13	-22	-14	0	-49	-12	26	-10	34	-7	34	-28	-4	6	-38	
JUL 1	-40	37	-35	7	-36	-48	-30	20	-24	23	-21	-32	-34	5	-14	-2	
2	-29	-40	3	-6	-5	-28	-9	-22	-20	52	-14	-32	-34	13	10	-25	
3	15	28	19	-8	-18	-5	2	-36	23	-31	-14	-32	-22	-18	54	-1	
AUG 1	10	6	-12	-11	-44	-11	-11	22	9	18	-25	-27	-14	-8	46	-5	
2	2	-8	-28	4	-21	-32	30	-18	-20	-15	-6	33	-21	-24	15	-15	
3	7	-21	-4	-24	-8	-16	-14	-5	1	-8	-11	13	-19	-27	-9	51	
SEP 1	-15	5	-8	47	-16	21	-6	16	18	-17	-22	-16	20	37	11	19	
2	-15	20	-2	-10	10	2	-6	0	1	11	36	17	75	4	-8	0	
3	13	-10	65	29	19	-6	-7	57	-1	0	-9	8	-6	44	-6	-11	
OKT 1	-11	-10	6	30	21	11	40	4	-4	37	31	42	41	25	23	-7	
2	42	-2	70	18	8	-4	-5	20	33	10	34	19	40	15	-5	15	
3	-1	20	12	56	-3	2	1	-2	-2	42	38	5	-3	29	-2	68	
NOV 1	11	16	19	11	18	25	33	0	64	5	1	5	-3	1	72	18	
2	13	64	36	42	35	3	60	8	25	45	35	47	8	2	22	24	
3	41	17	36	40	44	21	50	30	3	41	30	18	56	81	18	25	
DEC 1	1	16	35	16	24	38	1	6	28	23	42	27	24	3	45	4	
2	4	6	44	50	5	20	8	25	65	40	7	42	6	8	26	59	
3	18	-1	5	26	14	11	22	42	31	16	10	19	22	28	14	85	
Som	62	157	224	257	103	-65	211	174	333	295	177	228	335	380	432	317	

Tabel 2.7.11a Neerslagsom per decade in mm

Station: Oudenbosch

JAAR	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987
Decade																	
JAN 1	6	1	2	22	12	35	23	12	15	37	41	30	44	53	8	25	29
2	4	13	3	23	14	8	49	17	21	0	39	0	21	32	7	52	0
3	42	27	21	13	41	19	16	15	17	12	11	20	13	41	30	39	6
FEB 1	6	17	8	60	5	2	27	20	16	61	21	8	41	46	7	1	11
2	20	13	31	6	24	13	25	5	17	3	6	6	0	0	0	0	15
3	8	2	21	2	0	0	23	4	4	4	1	0	11	7	1	0	8
MRT 1	9	17	11	12	23	3	4	7	30	16	54	35	6	16	12	11	25
2	22	6	1	33	27	17	15	22	40	30	36	36	11	7	6	3	20
3	12	18	5	8	45	15	22	30	31	19	21	5	49	39	45	67	44
APR 1	14	39	31	0	38	3	19	1	5	30	0	14	35	11	43	14	7
2	4	16	14	3	17	3	15	15	3	3	0	2	16	7	50	24	12
3	22	7	27	22	11	0	9	12	32	10	20	0	64	0	14	15	1
MEI 1	3	9	47	1	10	2	20	27	32	3	30	15	30	20	15	25	21
2	32	37	17	4	7	11	32	17	9	0	10	14	34	23	17	6	34
3	53	28	16	16	0	11	5	0	55	17	38	11	29	53	10	8	30
JUN 1	2	39	32	17	26	4	16	14	25	13	19	12	21	30	27	51	47
2	67	11	0	8	23	15	16	13	42	16	7	36	0	3	24	2	24
3	50	22	5	11	44	10	16	40	11	52	37	28	20	26	51	22	28
JUL 1	0	45	4	40	28	0	1	44	11	66	10	3	12	10	22	20	0
2	0	6	35	20	16	3	11	3	15	46	15	7	0	73	13	0	72
3	30	34	35	20	29	24	23	8	9	16	22	6	27	2	69	13	55
AUG 1	19	43	20	30	28	8	0	15	25	2	5	30	14	23	45	28	20
2	11	36	0	36	25	0	38	7	8	9	16	26	3	4	50	7	15
3	21	1	24	6	12	10	112	23	39	32	6	42	10	0	17	69	45
SEP 1	0	20	2	60	7	36	5	9	4	9	8	6	25	78	34	14	8
2	0	28	12	6	48	33	1	6	2	6	32	0	69	49	6	26	39
3	31	1	41	59	21	10	0	31	5	5	13	24	3	42	6	0	16
OKT 1	8	0	13	34	8	22	25	33	6	22	38	82	15	61	25	1	64
2	22	1	55	40	6	16	0	7	28	35	45	36	20	26	1	19	26
3	8	25	32	50	0	8	7	18	4	23	65	11	3	52	7	82	17
NOV 1	18	5	15	16	9	11	38	3	70	1	7	5	1	9	34	12	1
2	44	52	21	42	49	20	34	8	19	28	19	50	4	17	20	37	50
3	34	18	28	59	43	24	70	22	4	22	29	12	61	36	15	19	35
DEC 1	6	10	22	14	15	42	14	14	23	39	55	30	26	4	30	9	1
2	8	6	39	40	3	14	11	55	66	34	20	34	7	15	20	51	24
3	9	0	5	31	8	14	34	40	39	14	22	19	21	17	34	64	12
Som	645	653	695	864	722	466	776	617	782	735	818	695	766	932	815	836	862

Tabel 2.7.11b Openwaterverdamping per decade berekend volgens Penman (E_0^{MOW})

Station: Oudembosch

JAAR	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987
Decade																	
JAN 1	0	1	0	2	2	6	0	2	1	0	2	2	2	2	0	0	2
2	1	3	2	6	5	5	0	1	1	0	2	0	5	6	0	4	1
3	5	4	3	4	6	5	2	3	1	2	1	1	4	1	1	4	0
FEB 1	4	4	3	6	2	3	5	3	3	3	5	3	4	5	4	4	4
2	7	6	7	9	5	7	6	4	4	4	4	5	5	4	5	6	5
3	6	5	6	6	8	6	6	6	3	5	6	5	7	4	4	6	6
MRT 1	10	13	11	9	10	14	14	10	12	10	9	12	8	9	7	10	15
2	15	20	14	12	11	13	17	14	11	12	13	15	13	11	10	12	13
3	18	25	18	17	16	24	18	17	19	16	21	15	17	15	17	21	18
APR 1	18	24	23	34	16	23	21	21	19	18	16	22	16	13	24	19	
2	25	23	20	30	17	30	25	21	26	31	29	27	23	24	24	18	
3	29	29	26	25	29	34	29	27	21	30	20	26	23	39	25	24	
MEI 1	43	32	28	25	34	44	26	26	30	35	27	29	27	24	22	35	
2	39	30	39	41	33	42	36	32	37	54	40	41	27	29	34	40	
3	37	45	38	39	43	42	59	40	37	36	37	44	28	24	45	45	
JUN 1	39	33	40	43	47	48	34	43	36	38	36	46	43	29	43	36	
2	30	40	48	45	45	46	33	42	35	42	36	34	47	39	34	52	
3	40	37	54	39	38	65	33	33	39	33	30	35	40	40	30	53	
JUL 1	51	34	0	35	45	66	48	29	39	27	37	37	46	40	44	43	
2	43	50	32	34	39	42	38	32	31	28	32	48	47	30	39	38	
3	36	30	35	39	43	39	33	42	40	47	39	37	45	42	41	37	
AUG 1	36	32	38	32	54	40	31	28	32	35	30	33	31	34	32	40	
2	31	30	40	33	31	45	22	34	25	28	29	33	32	33	29	30	
3	33	32	33	34	35	46	26	31	30	31	27	25	37	35	34	26	
SEP 1	29	24	24	23	21	24	21	22	25	26	26	24	27	22	24	22	
2	21	17	23	19	21	18	20	23	22	25	18	21	18	14	20	17	
3	15	15	16	16	22	17	16	15	17	16	18	18	17	14	18	15	
OKT 1	13	14	13	10	14	13	14	11	13	14	13	9	13	11	17	12	
2	14	9	8	6	8	10	9	8	7	9	7	9	12	9	7	11	
3	8	8	7	7	5	6	6	8	8	10	6	6	4	9	5	11	
NOV 1	5	4	7	3	3	5	8	2	6	5	3	7	2	4	7	6	
2	2	4	8	5	2	2	9	5	2	7	2	3	1	2	2	3	
3	2	4	2	5	2	4	3	2	2	5	5	3	2	5	0	2	
DEC 1	0	6	1	3	1	0	0	1	3	1	1	1	0	0	3	2	
2	3	0	4	5	0	1	0	2	4	3	0	2	1	0	2	3	
3	2	0	1	6	3	1	2	2	1	2	0	0	3	0	0	1	
Som	710	687	672	707	716	836	670	642	642	678	627	678	677	622	653	708	

Tabel 2.7.11c Neerslagoverschot in mm per decade ($P - 0.8E_0^{\text{MOW}}$)

Station: **Oudenbosch**

JAAR	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987
Decade																	
JAN 1	6	0	2	20	10	30	23	10	14	37	39	28	42	51	8	25	28
2	3	11	1	18	10	4	49	16	20	0	37	0	17	27	7	49	-1
3	38	24	19	10	36	15	14	13	16	10	10	19	10	40	29	35	6
FEB 1	3	14	6	55	3	0	23	18	14	59	17	6	38	42	4	-2	8
2	14	8	25	-1	20	7	20	2	14	0	3	2	-4	-3	-4	-5	11
3	3	-2	16	-3	-6	-5	18	-1	2	0	-4	-4	5	4	-3	-5	3
MRT 1	1	7	2	5	15	-8	-7	-1	20	8	47	25	0	9	6	3	13
2	10	-10	-10	23	18	7	1	11	31	20	26	24	1	-2	-3	-6	9
3	-2	-2	-9	-6	32	-4	8	16	16	6	4	-7	35	27	32	51	30
APR 1	0	20	13	-27	25	-15	2	-16	-10	16	-13	-4	22	0	23	-1	
2	-16	-2	-2	-21	3	-21	-5	-2	-18	-22	-23	-20	-2	-13	30	10	
3	-1	-16	6	2	-12	-27	-14	-10	15	-6	4	-21	46	-31	-6	-4	
MEI 1	-31	-17	25	-19	-17	-33	-1	6	8	-25	8	-8	8	1	-3	-3	
2	1	13	-14	-29	-19	-23	3	-9	-21	-43	-22	-19	12	0	-10	-27	
3	23	-8	-14	-15	-34	-23	-42	-32	25	-12	8	-24	7	34	-26	-28	
JUN 1	-29	13	0	-17	-12	-34	-11	-20	-4	-17	-10	-25	-13	7	-8	22	
2	43	-21	-38	-28	13	-22	-10	-21	14	-18	-22	9	-38	-28	-3	-40	
3	18	-8	-38	-20	14	-42	-10	14	-20	26	13	0	-12	-6	27	-20	
JUL 1	-41	18	4	12	-8	-53	-37	21	-20	44	-20	-27	-25	-23	-14	-14	
2	-34	-34	9	-7	-15	-31	-19	-23	-10	24	-11	-31	-38	49	-18	-30	
3	1	10	7	-11	-5	-7	-3	-26	-23	-22	-9	-24	-9	-32	36	-16	
AUG 1	-10	17	-10	4	-15	-24	-25	-7	-1	-26	-19	4	-11	-4	19	-4	
2	-14	12	-32	10	0	-36	20	-20	-12	-13	-7	0	-23	-23	27	-17	
3	-5	-25	-2	-21	-16	-27	91	-2	15	7	-16	22	-20	-28	-10	48	
SEP 1	-23	1	-17	42	-10	17	-12	-9	-16	-12	-13	-13	3	60	14	-4	
2	-17	14	-6	-9	31	19	-15	-12	-16	-14	18	-17	55	38	-10	13	
3	19	-11	28	46	3	-4	-13	19	-9	-8	-1	10	-11	31	-9	-12	
OKT 1	-2	-11	3	26	-3	12	14	24	-4	11	28	75	5	52	11	-9	
2	11	-6	49	35	0	8	-7	1	22	28	39	29	10	19	-5	10	
3	2	19	26	44	-4	3	2	12	-2	15	60	6	0	45	3	73	
NOV 1	14	2	9	14	7	7	32	1	65	-3	5	-1	-1	5	28	7	
2	42	49	15	38	47	18	27	4	17	22	17	48	3	15	19	35	
3	32	15	26	55	41	21	68	20	2	18	25	10	59	32	15	18	
DEC 1	6	5	21	12	14	42	14	13	21	38	54	29	26	4	28	7	
2	6	6	36	36	3	13	11	53	63	32	20	32	6	15	18	49	
3	7	0	4	26	6	13	32	38	38	12	22	19	19	17	34	63	
Som	78	105	160	299	149	-203	241	101	266	192	314	152	222	431	286	271	

Tabel 2.7.12a Neerslagsom per decade in mm

Station: Twente (Vlb)

JAAR	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987
Decade																	
JAN 1	5	9	5	18	25	66	17	17	16	18	55	24	52	61	25	16	58
2	10	15	1	29	11	23	12	16	10	0	35	0	28	51	4	72	1
3	38	26	25	17	48	20	36	18	4	17	0	33	24	29	31	26	7
FEB 1	9	9	16	30	5	1	28	8	17	48	18	10	43	57	6	0	12
2	16	7	42	9	16	17	21	8	23	5	6	5	1	0	0	2	6
3	13	1	19	9	0	1	11	3	1	0	1	0	7	4	1	0	13
MRT 1	8	8	20	11	23	7	6	13	31	7	34	33	1	17	10	7	28
2	16	6	2	20	17	2	13	40	30	14	74	29	20	2	12	0	22
3	14	15	13	6	41	19	13	35	22	25	29	1	60	18	30	60	31
APR 1	0	44	53	0	27	8	29	0	13	38	1	19	20	7	33	9	2
2	8	36	25	0	24	1	22	7	8	9	3	6	41	6	32	25	16
3	20	6	11	6	10	0	12	16	50	15	5	4	24	0	17	23	2
MEI 1	0	6	39	19	38	4	13	19	30	0	9	26	31	66	15	21	2
2	34	52	10	23	8	9	27	20	8	0	10	4	26	21	18	12	41
3	4	25	15	17	1	39	5	2	34	13	31	11	55	73	14	15	29
JUN 1	0	19	22	32	12	20	29	42	37	5	31	0	13	38	15	46	46
2	56	29	0	19	21	16	41	2	17	19	7	43	2	6	55	24	43
3	40	32	13	3	12	10	5	37	14	54	90	59	21	33	35	1	21
JUL 1	0	85	0	39	8	0	1	57	14	56	10	12	6	8	30	15	1
2	30	0	26	38	37	6	6	6	11	63	47	0	0	44	22	4	18
3	31	44	28	15	13	14	37	5	20	58	26	2	25	2	31	14	68
AUG 1	12	76	20	42	9	17	15	24	41	6	1	2	8	15	23	0	26
2	7	27	0	29	4	3	55	24	16	14	14	19	0	6	38	7	34
3	34	1	8	5	13	8	33	10	8	28	14	15	0	2	17	64	20
SEP 1	5	12	7	48	32	23	2	6	21	14	0	5	10	43	47	11	28
2	1	53	7	11	16	18	1	22	7	24	23	0	54	30	17	16	38
3	28	3	59	32	23	13	1	47	3	2	10	11	4	38	5	0	21
OKT 1	0	1	8	27	11	19	38	8	5	22	24	27	22	56	14	3	44
2	14	8	62	27	2	19	1	7	21	8	42	60	23	18	3	10	43
3	3	9	22	45	0	1	1	6	3	18	21	19	3	43	0	77	4
NOV 1	10	15	15	11	11	18	43	2	40	11	6	5	0	1	38	16	3
2	18	44	40	30	30	13	43	6	9	46	28	67	4	7	11	30	60
3	34	31	16	37	30	14	50	9	5	23	46	20	81	42	8	10	23
DEC 1	7	17	26	36	14	31	3	9	36	11	45	23	50	2	16	7	1
2	10	9	31	51	2	24	12	37	44	20	6	53	4	20	29	39	48
3	23	0	10	49	7	5	27	46	18	13	11	8	53	13	34	96	17
Som	558	780	716	840	601	509	709	634	687	724	813	655	816	879	736	778	877

Tabel 2.7.12b Openwaterverdamping per decade berekend volgens Penman (E_0^{MOW})

Station: Twente (vlb) (tot 1981 Dedemsvaart)

JAAR	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987
Decade																	
JAN 1	0	0	0	0	1	4	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	1
2	0	1	0	4	3	4	0	0	0	0	0	0	3	3	0	2	1
3	4	2	2	2	3	2	2	1	1	1	0	0	4	1	2	3	0
FEB 1	3	2	2	3	1	3	4	2	1	2	3	3	2	4	4	3	3
2	6	4	4	5	4	5	6	3	4	3	3	5	3	4	4	4	4
3	5	4	4	5	5	6	5	6	4	5	4	4	6	3	4	4	5
MRT 1	10	9	9	8	9	11	15	9	12	9	8	11	9	8	6	9	9
2	13	18	11	11	9	14	15	12	11	11	10	14	13	14	8	11	11
APR 1	16	20	17	29	17	21	17	18	17	17	19	23	16	13	21	16	
2	22	17	19	26	16	29	20	21	26	29	30	24	22	24	19	20	
3	29	26	22	24	26	30	27	22	19	20	23	25	24	35	25	24	
MEI 1	40	30	23	22	29	38	25	31	26	36	30	26	25	23	25	34	
2	38	25	34	40	29	38	36	27	34	52	39	38	27	29	32	27	
3	36	38	35	35	37	35	54	40	38	36	37	43	27	24	43	42	
JUN 1	42	34	32	35	40	43	31	42	37	38	37	50	49	28	40	30	
2	27	36	42	42	42	42	35	42	34	32	30	28	47	35	28	51	
3	36	37	51	36	38	60	32	30	38	28	31	34	46	32	27	53	
JUL 1	50	28	46	34	48	64	44	26	30	25	38	40	47	34	40	42	
2	38	47	30	30	32	37	35	31	33	26	29	49	47	27	38	34	
3	37	31	32	36	41	36	31	45	32	41	34	41	46	35	35	35	
AUG 1	36	29	36	31	52	31	26	24	30	32	32	32	35	29	27	38	
2	31	27	38	31	36	38	23	28	26	25	27	31	33	30	30	29	
3	30	28	31	34	33	38	30	28	27	31	25	25	39	30	30	25	
SEP 1	25	20	22	23	23	20	21	21	23	25	25	23	24	16	20	19	
2	19	14	20	18	20	17	19	20	19	20	18	21	17	15	17	16	
3	15	13	12	14	21	14	15	13	16	14	17	19	19	12	14	13	
OKT 1	12	11	9	9	13	12	13	9	13	12	13	9	13	9	14	11	
2	10	6	6	6	7	9	7	8	7	8	6	8	12	8	6	9	
3	7	5	5	5	4	5	6	7	8	8	5	6	5	8	4	8	
NOV 1	5	3	4	2	3	4	6	2	4	3	2	5	3	4	5	4	
2	2	2	5	4	2	1	6	4	1	3	3	2	1	1	1	4	
3	1	1	0	2	1	3	2	1	2	3	2	2	2	4	0	0	
DEC 1	0	3	0	2	2	1	0	0	2	0	0	0	0	0	3	1	
2	0	0	1	2	0	0	0	0	3	1	0	1	0	0	1	1	
3	0	0	0	3	3	0	3	1	0	0	0	0	2	0	2	0	
Som	660	591	619	635	665	736	628	591	596	613	601	659	684	560	591	649	

Tabel 2.7.12c Neerslagoverschot in mm per decade ($P - 0.8E_0^{MOW}$) Station: Twente (vib) (tot 1981 Dedemsvaart)

JAAR	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987
Decade																	
JAN 1	5	9	5	18	24	63	17	16	16	18	55	23	51	60	25	16	57
2	10	14	1	26	9	20	12	16	10	0	35	0	25	49	4	70	0
3	35	24	23	15	45	18	35	17	3	16	0	33	20	28	29	24	7
FEB 1	7	7	14	27	4	-1	25	6	16	46	15	8	42	54	3	-2	10
2	11	4	39	5	13	13	16	6	20	3	3	1	-2	-3	-3	-2	3
3	9	-2	16	5	-4	-4	7	-2	-2	-4	-2	-3	3	2	-3	-3	9
MRT 1	0	1	13	4	16	-1	-6	6	22	0	28	24	-6	10	6	-1	21
2	6	-8	-7	11	10	-9	1	30	21	5	66	18	10	-9	5	-9	13
3	2	-1	1	-12	29	2	0	22	7	11	12	-12	48	4	17	46	18
APR 1	-12	28	39	-23	13	-9	16	-14	0	25	-14	0	7	-4	16	-4	
2	-10	22	10	-21	12	-23	6	-10	-13	-15	-21	-13	23	-13	17	9	
3	-3	-15	-6	-13	-11	-24	-9	-2	35	-1	-14	-16	5	-28	-3	4	
MEI 1	-32	-18	20	2	15	-26	-7	-6	9	-29	-15	5	11	47	-5	-6	
2	3	32	-17	-9	-15	-21	-2	-2	-19	-42	-22	-26	4	-2	-8	-18	
3	-25	-5	-13	-11	-29	11	-38	-31	4	-16	2	-23	33	53	-21	-19	
JUN 1	-34	-9	-4	4	-20	-14	4	8	7	-26	1	-40	-26	16	-17	22	
2	35	0	-33	-15	-13	-17	13	-32	-11	-6	-17	21	-35	-22	33	-17	
3	11	3	-27	-26	-19	-38	-21	13	-17	32	65	32	-15	7	14	-42	
JUL 1	-40	63	-37	11	-30	-51	-34	36	-10	36	-21	-20	-32	-19	-2	-19	
2	0	-38	2	14	12	-24	-22	-19	-15	42	24	-39	-37	22	-8	-23	
3	1	19	3	-14	-20	-14	12	-32	-6	25	-1	-31	-12	-26	3	-14	
AUG 1	-17	52	-9	17	-33	-8	-6	5	17	-19	-25	-24	-20	-9	1	-30	
2	-18	6	-30	4	-25	-28	36	2	-5	-6	-8	-6	-26	-18	14	-17	
3	10	-21	-17	-22	-14	-22	9	-12	-14	3	-6	-5	-31	-22	-7	44	
SEP 1	-15	-4	-11	30	13	7	-15	-11	3	-6	-20	-14	-9	30	31	-4	
2	-14	42	-9	-4	0	4	-14	6	-9	8	8	-17	40	18	3	3	
3	16	-8	50	21	6	2	-11	36	-10	-9	-4	-4	-11	28	-7	-10	
OKT 1	-10	-7	1	20	1	9	27	1	-5	13	13	20	12	49	3	-6	
2	6	3	57	22	-3	12	-5	1	16	2	37	53	13	12	-2	3	
3	-3	5	18	41	-3	-3	-4	0	-4	12	17	14	-1	37	-3	71	
NOV 1	6	12	12	9	9	15	38	0	37	8	4	1	-2	-3	34	13	
2	16	42	36	26	28	12	39	3	8	43	25	65	3	6	10	27	
3	33	30	16	35	29	12	48	8	3	21	45	19	80	39	8	10	
DEC 1	7	14	26	34	12	30	3	9	34	11	45	23	50	2	14	6	
2	10	9	30	49	2	24	12	37	42	19	6	52	4	20	29	38	
3	23	0	10	47	4	5	24	45	18	13	11	8	52	13	32	96	
Som	29	305	222	327	67	-78	206	156	208	233	327	127	271	428	262	256	

Tabel 2.7.13 Frequentieverdelingen (onderschrijdingskansen) van K-daagse sommen van de neerslag, de open waterverdamping en het potentieel neerslagoverschot (tijdstep 1 maand), vanaf resp 1 april, 1 mei, 1 juni en 1 juli. (ontleend aan *De Bruin*, 1979)

DEN HELDER																						
KANS <.. %	VANAF 1 APRIL APR MEI JUN JUL AUG SEP						VANAF 1 MEI MEI JUN JUL AUG SEP					VANAF 1 JUNI JUN JUL AUG SEP				VANAF 1 JULI JUL AUG SEP			KANS <.. %			
	NE E R S L A G , P (mm)																					
3	10	30	58	96	120	177	11	21	71	100	140	9	35	78	126	12	42	92	3			
5	13	35	64	108	154	195	13	40	76	113	159	10	46	82	135	15	55	100	5			
10	19	48	78	127	169	229	14	45	102	141	199	15	62	100	156	20	65	120	10			
20	21	53	85	146	207	274	21	57	106	162	238	25	76	126	196	31	94	153	20			
50	41	81	123	181	249	338	35	75	137	205	290	36	94	164	243	51	126	206	50			
80	62	109	155	224	324	393	58	105	182	270	359	60	147	239	328	97	175	276	80			
90	69	124	174	260	343	430	70	128	201	301	390	71	166	267	350	114	227	312	90			
95	77	139	181	291	372	460	77	135	234	320	415	83	176	280	379	134	260	361	95			
97	81	140	218	302	393	566	81	149	256	340	496	115	206	306	446	145	265	399	97			
	O P E N W A T E R V E R D A M P I N G , E_o^{MOW} (mm)																					
3	55	153	275	380	487	551	91	208	315	418	482	108	212	314	378	98	193	264	3			
5	57	155	276	387	489	561	93	208	318	421	490	109	215	317	387	101	198	270	5			
10	63	164	280	400	498	573	98	215	327	426	501	113	225	324	401	108	208	277	10			
20	67	173	294	411	517	591	100	222	339	441	512	118	232	338	409	114	216	287	20			
50	75	187	314	443	547	623	111	234	363	471	545	126	251	360	433	123	231	307	50			
80	86	201	334	464	574	651	122	254	386	492	571	137	269	378	458	136	246	321	80			
90	88	211	338	479	587	665	127	265	400	511	587	144	274	392	469	141	258	341	90			
95	92	215	355	489	617	701	131	272	409	540	624	151	289	419	500	150	273	361	95			
97	94	218	360	491	640	730	141	280	413	558	648	153	293	432	522	154	288	375	97			
	P O T E N T I E E L N E E R S L A G O V E R S C H O T , $P - 0,8 E_o^{MOW}$ (mm)																					
3	-59	-131	-222	-297	-377	-372	-94	-191	-272	-335	-331	-108	-184	-247	-247	-99	-152	-194	3			
5	-52	-122	-206	-283	-339	-358	-89	-182	-243	-320	-330	-100	-167	-230	-244	-93	-149	-177	5			
10	-49	-115	-183	-230	-276	-290	-82	-160	-216	-250	-257	-95	-154	-206	-223	-88	-141	-145	10			
20	-39	-107	-173	-221	-241	-245	-75	-140	-186	-226	-217	-83	-134	-168	-165	-72	-107	-104	20			
50	-21	-68	-127	-173	-180	-151	-53	-110	-154	-156	-140	-66	-107	-112	-90	-45	-57	-34	50			
80	6	-37	-92	-107	-118	-97	-26	-77	-100	-104	-57	-33	-45	-52	-1	-2	-2	39	80			
90	13	-22	-65	-74	-66	-37	-13	-60	-71	-63	-31	-22	-22	-11	19	25	38	76	90			
95	20	-1	-48	-51	-32	9	1	-38	-32	-41	6	-11	-1	-1	40	43	79	114	95			
97	23	2	-25	-27	-26	47	5	-33	-16	5	48	23	16	55	79	47	100	145	97			

Tabel 2.7.14 Frequentieverdelingen (onderschrijdingskansen) van K-daagse sommen van de neerslag, de open waterverdamping en het potentieel neerslagoverschot (tijdstep 1 maand), vanaf resp 1 april, 1 mei, 1 juni en 1 juli. (ontleend aan *De Bruin*, 1979)

DE BILT																						
KANS ≤. %	VANAF 1 APRIL APR MEI JUN JUL AUG SEP						VANAF 1 MEI MEI JUN JUL AUG SEP					VANAF 1 JUNI JUN JUL AUG SEP				VANAF 1 JULI JUL AUG SEP			KANS ≤. %			
	NEERSLAG, P (mm)																					
3	16	47	94	129	197	200	16	56	87	120	127	16	55	104	107	20	41	71	3			
5	18	50	98	160	205	248	17	59	92	158	211	18	60	118	180	22	65	82	5			
10	20	60	119	177	237	294	20	66	132	192	262	31	84	147	203	29	82	144	10			
20	30	74	133	197	263	330	28	82	157	215	285	39	92	162	228	42	114	173	20			
50	50	103	164	236	333	412	52	116	190	271	348	55	142	230	296	76	163	233	50			
80	72	136	206	290	403	478	78	159	226	355	444	95	181	291	376	106	215	296	80			
90	81	157	237	316	432	540	91	183	280	376	472	113	208	327	425	130	256	328	90			
95	91	184	257	362	475	578	107	199	309	435	532	130	232	361	476	160	262	372	95			
97	96	193	308	430	519	586	127	201	343	448	547	139	265	386	485	183	271	409	97			
	OPENWATERVERDAMPING, E_o^{MOW} (mm)																					
3	57	156	255	363	452	502	81	185	293	378	437	95	197	283	340	90	179	233	3			
5	58	157	268	375	456	510	86	191	301	388	441	101	198	285	342	94	179	234	5			
10	62	162	275	382	468	524	92	204	309	393	448	105	208	297	352	97	183	238	10			
20	66	171	286	391	485	544	97	216	323	412	471	110	220	309	362	102	189	244	20			
50	75	183	307	424	516	575	107	233	349	439	500	123	237	327	386	114	207	265	50			
80	85	196	323	445	541	605	117	243	365	461	528	135	257	356	417	130	227	292	80			
90	89	206	332	455	552	622	124	254	373	476	545	143	264	364	432	133	238	305	90			
95	90	210	340	460	574	644	131	258	392	499	568	147	273	388	455	140	257	329	95			
97	94	218	342	491	615	700	132	273	406	538	623	151	289	406	491	148	261	338	97			
	POTENTIEEL NEERSLAGOVERSCHOT, $P - 0,8 E_o^{MOW}$ (mm)																					
3	-59	-120	-165	-244	-295	-351	-90	-145	-223	-278	-312	-94	-165	-206	-239	-91	-154	-191	3			
5	-53	-114	-161	-220	-255	-274	-89	-137	-201	-227	-246	-90	-154	-176	-186	-80	-137	-174	5			
10	-43	-96	-139	-171	-200	-195	-76	-125	-153	-188	-194	-78	-118	-151	-141	-76	-110	-106	10			
20	-36	-76	-123	-147	-155	-141	-65	-116	-138	-144	-116	-65	-102	-106	-88	-61	-60	-43	20			
50	-9	-43	-82	-96	-89	-48	-33	-69	-84	-71	-49	-47	-52	-28	-13	-12	1	23	50			
80	15	-6	-31	-37	-4	26	-2	-22	-32	9	35	5	-4	30	79	21	70	95	80			
90	27	19	9	3	38	93	12	18	19	41	104	30	35	81	136	49	91	137	90			
95	43	43	28	30	77	141	25	34	54	104	159	39	60	110	169	78	109	162	95			
97	47	49	78	124	139	148	46	39	97	123	181	47	75	135	176	106	121	198	97			

Tabel 2.7.15 Frequentieverdelingen (onderschrijdingskansen) van K-daagse sommen van de neerslag, de open waterverdamping en het potentieel neerslagoverschot (tijdstap 1 maand), vanaf resp 1 april, 1 mei, 1 juni en 1 juli. (ontleend aan *De Bruin*, 1979)

AVEREEST / DEN HULST / WIJSTER / WITTEVEEN / DEDEMSVAART																				
KANS <.. %	VANAF 1 APRIL APR MEI JUN JUL AUG SEP						VANAF 1 MEI MEI JUN JUL AUG SEP					VANAF 1 JUNI JUN JUL AUG SEP				VANAF 1 JULI JUL AUG SEP			KANS <.. %	
	NEERSLAG , P (mm)																			
3	8	52	99	137	169	212	20	46	104	145	157	20	70	126	147	24	68	111	3	
5	13	60	101	156	222	234	21	59	110	163	204	23	72	130	174	25	96	118	5	
10	22	63	113	190	262	324	24	68	127	206	272	26	80	151	215	29	107	161	10	
20	26	67	136	206	289	359	30	82	152	235	307	36	102	193	253	47	133	194	20	
50	49	108	164	257	347	423	53	117	201	296	361	63	145	240	310	81	169	244	50	
80	80	137	218	310	403	480	74	157	254	351	425	99	188	289	369	118	224	310	80	
90	98	160	253	362	451	517	89	173	278	372	469	119	228	332	407	140	241	325	90	
95	105	175	268	384	483	569	110	190	290	402	482	139	246	347	425	166	261	345	95	
97	112	197	269	393	486	588	112	217	315	434	490	150	275	357	432	183	264	350	97	
	OPENWATERVERDAMPING , E_o^{MOW} (mm)																			
3	53	149	256	355	435	486	85	188	297	365	417	94	192	278	324	91	168	221	3	
5	54	149	259	358	438	490	87	196	299	374	426	99	201	278	332	92	171	222	5	
10	59	152	267	368	452	505	90	202	301	388	443	103	203	288	339	96	177	230	10	
20	62	158	275	383	474	526	95	207	312	401	458	107	212	298	358	100	185	240	20	
50	73	179	300	407	494	554	105	227	337	429	484	119	230	319	376	110	202	259	50	
80	80	195	317	436	531	590	118	242	358	456	516	131	250	346	403	121	218	276	80	
90	87	201	324	450	544	604	125	251	377	470	534	140	258	358	416	132	229	297	90	
95	89	204	334	460	568	637	131	259	383	493	559	147	273	380	450	135	247	315	95	
97	93	206	339	466	575	649	135	267	397	502	576	149	277	389	458	139	255	320	97	
	POTENTIEEL NEERSLAGOVERSCHOT , $P - 0,8 E_o^{MOW}$ (mm)																			
3	-58	-110	-157	-220	-257	-307	-85	-158	-199	-247	-304	-90	-131	-163	-219	-80	-106	-136	3	
5	-54	-91	-150	-201	-223	-233	-83	-140	-188	-209	-202	-85	-125	-141	-139	-73	-80	-104	5	
10	-42	-86	-134	-153	-144	-139	-72	-123	-167	-141	-148	-77	-113	-117	-97	-66	-71	-53	10	
20	-34	-80	-113	-134	-118	-109	-62	-108	-115	-114	-103	-64	-92	-77	-58	-45	-43	-39	20	
50	-8	-36	-71	-68	-57	-23	-31	-64	-67	-47	-20	-34	-41	-20	6	-8	9	41	50	
80	29	6	-15	-17	23	52	-9	-18	-3	18	46	5	23	37	73	37	74	105	80	
90	37	24	29	42	52	83	10	7	15	52	93	33	60	91	119	57	86	126	90	
95	56	51	42	77	88	127	33	32	37	68	112	50	71	106	138	85	115	147	95	
97	60	63	51	80	95	174	42	38	45	96	122	62	102	118	150	100	132	180	97	

Tabel 2.7.16 Frequentieverdelingen (onderschrijdingskansen) van K-daagse sommen van de neerslag, de open waterverdamping en het potentieel neerslagoverschot (tijdstep 1 maand), vanaf resp 1 april, 1 mei, 1 juni en 1 juli. (ontleend aan *De Bruin*, 1979)

WINTERSWIJK																				
KANS <.. %	VANAF 1 APRIL APR MEI JUN JUL AUG SEP						VANAF 1 MEI MEI JUN JUL AUG SEP					VANAF 1 JUNI JUN JUL AUG SEP				VANAF 1 JULI JUL AUG SEP			KANS <.. %	
	NEERSLAG , P (mm)																			
3	10	49	83	105	152	175	17	53	84	125	148	16	48	82	111	25	46	75	3	
5	14	54	97	146	209	227	18	57	115	171	191	23	74	142	169	27	81	110	5	
10	21	60	109	178	249	304	22	67	131	194	255	33	87	151	220	35	97	152	10	
20	27	71	132	205	276	334	33	92	160	233	292	39	112	174	239	51	110	169	20	
50	47	99	174	255	315	401	49	116	199	268	346	62	149	221	286	80	158	231	50	
80	78	144	215	305	395	469	79	150	241	348	404	91	179	269	353	111	206	272	80	
90	91	170	229	341	436	504	88	169	272	380	461	105	199	311	398	127	240	319	90	
95	112	186	249	366	502	559	113	186	301	419	489	122	252	371	444	155	274	355	95	
97	117	188	257	398	512	579	127	190	329	431	490	129	257	388	447	163	289	384	97	
	OPENWATERVERDAMPING , E_o^{MOW} (mm)																			
3	52	150	259	358	445	501	84	193	288	369	425	89	189	273	331	87	166	218	3	
5	55	153	266	362	449	503	88	195	290	378	428	96	192	276	332	89	169	224	5	
10	60	159	271	370	457	510	92	200	302	389	441	101	203	291	342	91	179	233	10	
20	62	164	279	384	473	529	96	207	313	399	457	105	211	299	355	99	186	240	20	
50	72	177	296	405	495	554	106	224	335	427	483	118	229	319	377	112	200	255	50	
80	82	191	313	430	524	582	116	237	358	451	508	130	250	348	407	124	222	282	80	
90	85	194	323	440	538	604	122	250	365	471	536	140	255	354	418	129	227	293	90	
95	88	202	327	452	554	620	129	254	375	482	547	142	261	366	432	133	247	314	95	
	POTENTIEEL NEERSLAGOVERSCHOT , $P - 0,8 E_o^{MOW}$ (mm)																			
3	-62	-105	-174	-247	-285	-336	-87	-149	-220	-252	-301	-89	-155	-204	-231	-75	-142	-166	3	
5	-51	-101	-158	-220	-260	-288	-77	-139	-190	-242	-266	-80	-135	-173	-212	-72	-119	-151	5	
10	-44	-86	-145	-163	-174	-167	-67	-125	-157	-175	-152	-71	-108	-130	-110	-65	-82	-81	10	
20	-32	-77	-115	-136	-131	-118	-58	-96	-111	-126	-99	-64	-83	-83	-65	-47	-55	-37	20	
50	-10	-39	-71	-70	-74	-50	-38	-68	-66	-60	-33	-30	-44	-30	-12	-7	1	25	50	
80	25	17	-15	-5	13	31	0	-19	-6	22	30	3	5	15	37	27	45	71	80	
90	41	37	10	33	61	85	8	-2	22	63	98	22	37	72	103	44	82	124	90	
95	66	60	30	65	123	148	34	29	54	97	127	32	98	152	165	81	137	164	95	
97	71	67	40	86	143	158	51	51	69	112	131	46	111	169	182	92	140	197	97	

Tabel 2.7.17 Frequentieverdelingen (onderschrijdingskansen) van K-daagse sommen van de neerslag, de open waterverdamping en het potentieel neerslagoverschot (tijdstep 1 maand), vanaf resp 1 april, 1 mei, 1 juni en 1 juli. (ontleend aan *De Bruin*, 1979)

OUDENBOSCH																							
KANS <.. %	VANAF 1 APRIL APR MEI JUN JUL AUG SEP						VANAF 1 MEI MEI JUN JUL AUG SEP					VANAF 1 JUNI JUN JUL AUG SEP				VANAF 1 JULI JUL AUG SEP			KANS <.. %				
	NEERSLAG , P (mm)																						
3	10	47	72	150	204	210	12	50	109	152	158	19	45	105	111	17	54	78				3	
5	16	51	85	158	210	235	17	59	114	176	202	20	58	111	163	21	78	96				5	
10	18	58	106	164	227	281	22	66	134	187	242	25	81	143	192	32	89	134				10	
20	25	66	122	190	264	336	27	80	153	219	280	36	102	166	221	43	110	168				20	
50	45	98	159	237	309	382	47	110	183	262	339	56	135	214	291	78	146	225				50	
80	71	131	196	279	371	433	76	147	224	325	386	90	172	279	339	99	215	276				80	
90	80	150	219	301	431	503	90	174	260	364	439	104	207	309	379	125	233	306				90	
95	90	161	245	330	452	514	109	180	291	397	487	130	218	319	413	138	245	332				95	
97	93	165	248	374	453	548	124	183	304	407	512	135	237	327	446	142	250	364				97	
	OPENWATERVERDAMPING , E_o^{MOW} (mm)																						
3	55	163	267	374	464	516	91	196	295	385	437	95	190	280	334	90	183	237				3	
5	58	164	277	378	474	529	93	198	304	401	453	98	202	291	347	95	185	239				5	
10	61	166	283	385	477	532	96	213	317	408	463	108	210	307	359	99	191	244				10	
20	66	173	295	401	498	551	103	224	331	426	483	113	226	316	374	105	195	252				20	
50	75	186	311	430	524	586	110	234	356	449	512	125	242	336	399	116	212	274				50	
80	85	197	325	453	554	619	118	248	372	475	539	134	263	362	429	132	229	297				80	
90	90	206	340	462	566	634	124	259	377	487	555	143	269	378	443	139	247	314				90	
95	94	218	353	469	581	655	132	264	384	496	568	152	273	384	457	143	263	337				95	
97	97	219	368	518	649	742	135	280	430	569	662	155	300	430	523	150	275	368				97	
	POTENTIEEL NEERSLAGOVERSCHOT , $P - 0,8 E_o^{MOW}$ (mm)																						
3	-60	-118	-180	-270	-315	-349	-82	-160	-235	-291	-308	-102	-174	-217	-247	-97	-151	-203				3	
5	-55	-113	-177	-225	-284	-291	-79	-144	-208	-256	-273	-86	-163	-209	-213	-92	-138	-165				5	
10	-51	-99	-165	-195	-218	-241	-73	-135	-161	-186	-211	-81	-138	-147	-166	-76	-103	-121				10	
20	-43	-86	-132	-163	-173	-140	-66	-113	-134	-160	-127	-75	-97	-120	-108	-59	-70	-58				20	
50	-14	-53	-80	-103	-113	-80	-40	-82	-102	-88	-64	-40	-60	-51	-20	-17	-13	0				50	
80	13	-11	-46	-55	-32	-9	-9	-34	-44	-22	0	-3	-6	4	36	10	40	70				80	
90	28	14	-18	-19	18	50	4	-3	-15	13	59	12	15	51	62	42	71	101				90	
95	36	21	15	1	40	75	24	12	27	49	91	41	44	68	120	54	79	110				95	
97	41	33	25	71	60	90	49	23	50	67	104	50	69	71	124	59	88	153				97	

Tabel 2.7.18 Frequentieverdelingen (onderschrijdingskansen) van K-daagse sommen van de neerslag, de open waterverdamping en het potentieel neerslagoverschot (tijdstap 1 maand), vanaf resp 1 april, 1 mei, 1 juni en 1 juli. (ontleend aan *De Bruin, 1979*)

GEMERT																				
KANS <.. %	VANAF 1 APRIL APR MEI JUN JUL AUG SEP						VANAF 1 MEI MEI JUN JUL AUG SEP						VANAF 1 JUNI JUN JUL AUG SEP				VANAF 1 JULI JUL AUG SEP			KANS <.. %
	NEERSLAG, P (mm)																			
3	7	51	79	101	134	143	9	51	73	103	122	19	37	78	89	13	44	63	3	
5	13	52	88	130	151	178	13	54	100	116	145	21	50	88	117	15	67	83	5	
10	18	53	101	161	223	274	20	68	123	172	229	26	74	131	180	24	78	118	10	
20	24	69	129	189	258	313	30	79	142	218	261	38	89	156	207	40	92	150	20	
50	45	99	153	234	300	356	51	115	188	254	315	55	130	202	264	69	146	204	50	
80	68	132	197	269	373	429	81	152	224	318	370	86	178	249	320	96	177	257	80	
90	76	141	216	296	404	449	92	167	245	349	419	100	192	291	369	116	215	277	90	
95	82	159	244	340	420	498	96	182	265	371	434	124	219	322	382	133	240	304	95	
97	83	164	265	365	425	517	100	184	289	377	466	144	234	327	402	141	248	343	97	
	OPENWATERVERDAMPING, E_0^{MOW} (mm)																			
3	55	155	254	366	450	505	83	182	295	380	423	91	186	274	327	87	179	225	3	
5	58	157	270	368	458	517	86	194	298	384	438	96	194	281	332	91	180	234	5	
10	61	163	277	380	468	520	94	203	305	394	453	101	206	298	355	95	182	237	10	
20	66	169	284	392	482	539	99	216	323	414	469	108	218	309	364	101	189	246	20	
50	75	183	303	420	511	569	108	230	343	437	494	122	235	328	387	114	204	264	50	
80	85	197	324	440	540	602	117	246	363	464	526	132	256	354	415	130	229	296	80	
90	89	203	329	450	548	615	125	253	372	476	543	143	260	364	432	135	239	305	90	
95	95	211	336	463	568	638	134	260	385	484	554	146	264	371	437	139	253	324	95	
97	96	214	345	472	613	688	136	273	389	530	605	147	276	415	492	140	265	356	97	
	POTENTIEEL NEERSLAGOVERSCHOT, $P - 0,8 E_0^{\text{MOW}}$ (mm)																			
3	-63	-120	-189	-278	-333	-371	-97	-150	-230	-285	-323	-100	-173	-228	-266	-98	-153	-210	3	
5	-59	-109	-176	-227	-290	-314	-90	-142	-190	-261	-288	-82	-161	-210	-235	-96	-150	-185	5	
10	-48	-105	-152	-195	-236	-250	-75	-131	-172	-214	-224	-75	-122	-151	-165	-83	-110	-120	10	
20	-42	-83	-122	-159	-156	-145	-61	-110	-138	-148	-138	-65	-106	-116	-117	-64	-87	-72	20	
50	-13	-45	-86	-98	-110	-89	-31	-70	-86	-87	-75	-44	-53	-62	-45	-20	-18	-9	50	
80	14	-9	-37	-55	-28	-13	-2	-23	-30	-15	-12	0	-9	-5	17	13	20	50	80	
90	25	9	-11	-27	-4	14	11	4	-14	20	37	13	20	47	73	37	60	80	90	
95	28	21	16	28	16	61	20	12	10	37	65	33	50	73	93	57	92	115	95	
97	34	36	22	49	37	80	24	14	22	41	83	52	69	79	103	59	105	129	97	

2.8. Literatuur

- Bakel, P.J.T. van, 1981.
Unsaturated zone and evapotranspiration. Versl. en Meded. 28: p.38-58. Comm. Hydr. Onderz. TNO, 's-Gravenhage.
- Begeleidingsgroep Gelgam, 1984.
Herziening van de berekening van de gewasverdamping in het hydrologisch model Gelgam. Rp. van de ad hoc groep Verdamping. Provincie Gelderland, dienst Waterbeheer, Arnhem.
- Braak, C., 1936.
Het klimaat van Nederland. E. Verdamping. Meded. en Verhand. 39. K.N.M.I. Rijksuitgeverij, 's-Gravenhage.
- Bruin, H.A.R. de, 1977.
Een computerprogramma voor het berekenen van de inkomende straling aan de rand van de atmosfeer per dag door een horizontaal oppervlak. Verslagen V 294. K.N.M.I., De Bilt.
- Bruin, H.A.R. de, 1979.
Neerslag, openwaterverdamping en potentieel neerslagoverschot in Nederland. Frequentieverdelingen in het groeiseizoen. WR 79-4. K.N.M.I., De Bilt.
- Bruin, H.A.R. de, 1981.
The determination of (reference crop) evapotranspiration from routine weather data. Versl. en Meded. 28: p.25-37. Comm. Hydr. Onderz. TNO, 's-Gravenhage.
- Bruin, H.A.R. de, 1982a.
The energy balance of the earth's surface: a practical approach. WR 82-1. K.N.M.I., De Bilt.
- Bruin, H.A.R. de, 1982b.
Temperature and energy balance of a water reservoir determined from standard weather data of a land station. J. Hydrol. 59: p.261-274.
- Bruin, H.A.R. de, 1987.
From Penman to Makkink. In: Versl. en Meded. 39: p. 5-31, Comm. Hydr. Onderz. TNO, 's-Gravenhage.
- Bruin, H.A.R. de and A.A.M. Holtslag, 1982.
A simple parameterisation of the surface fluxes of sensible and latent heat during daytime compared with the Penman-Monteith concept. J. Applied Meteorol. 11: p.1610-1621.
- Bruin, H.A.R. and J.Q. Keijman, 1979.
The Priestley-Taylor evaporation model applied to a large, shallow lake in the Netherlands. J. Applied Meteorol. 18: p.898-903.
- Bruin, H.A.R. de en W. Kohsiek, 1977.
De verdamping uit gras op kleigrond in de zomer van 1976 vergeleken met de Penman-formule. WR 77-10. K.N.M.I., De Bilt.
- Bruin, H.A.R. de en W. Kohsiek, 1979.
Toepassingen van de Penman-formule. WR 79-3. K.N.M.I., De Bilt.
- Brunt, D., 1932.
Notes on radiation in the atmosphere I. Quart. J. Roy. Meteorol. Soc. 58: p.389-420.
- Brunt, D., 1939.
Physical and Dynamical Meteorology. Cambridge University Press.
- Brutsaert, W.H. 1982.
Evaporation into the atmosphere. D. Reidel Publ. Co., Dordrecht, Holland.
- Brutsaert, W.H. and J.N.M. Stricker, 1979.
An advection-aridity approach to estimate actual regional evapotranspiration. Water Resources Research 15: p.443-450.
- Buishand, T.A., 1982.
Het verloop van het potentiële neerslagoverschot in een zomerhalfjaar van een bepaalde droogtegraad. Cultuurtechn. Tijdschr. 21(1): p.11-19.

- Buishand, T.A., 1983.
De kansverdeling van D-uurlijkse neerslagsommen ($D=1, 2, 4, 6, 12, 24$ of 48) in Nederland. WR 83-5. K.N.M.I., De Bilt.
- Buishand, T.A., 1984.
Neerslaggegevens bij rioleringsberekeningen. H_2O , 17(7): p.142-147.
- Buishand, T.A. en C.A. Velds, 1980.
Neerslag en Verdamping. Klimaat van Nederland I. Staatsuitgeverij, 's-Gravenhage.
- Calder, I.R., 1977.
A model of transpiration and interception loss from a spruce forest in Plynlimon, Central Wales. J. Hydrol. 33: p.247-265.
- Colenbrander, H.J., 1970.
Waterbalansstudies in kleine stroomgebieden. Deelrapport II in: Hydrologisch onderzoek in het Leerinkbeekgebied. Tweede interimrapport Werkgroep I, Comm. ter Bestudering van de Waterbehoefte van de Gelderse Landbouwgronden, Provincie Gelderland, Arnhem.
- Commissie Grondwaterwet Waterleidingbedrijven, 1984
Landbouwkundige Aspecten van Grondwateronttrekking. Berekening van schade als gevolg van kunstmatige verlaging van de grondwaterstand. Rp. van de Werkgroep Landbouwkundige Aspecten.
- Commissie voor Hydrologisch Onderzoek TNO, 1986.
Verklarende hydrologische woordenlijst. Serie: Rapporten en nota's nr. 16. 's-Gravenhage.
- Commissie voor Hydrologisch Onderzoek TNO, in voorbereiding.
Van Penman naar Makkink. Eindrapport van de Project- en Begeleidingsgroep Verdampingsberekeningen.
- Deij, L.J.L., 1960.
Algemene beschouwingen over het probleem van de verdamping. Versl. en Meded. 4: p.13-30. Comm. Hydr. Onderz. TNO, 's-Gravenhage.
- Deij, L.J.L., S.B. Hooghoudt, J.H.M. Latour, P.K. Peerlkamp en A.H. Stam, 1955.
Het verdampingsonderzoek in de Rottegataspolder gedurende de jaren 1947 tot en met 1952. Versl. en Meded. 2: p.209-254. Comm. Hydr. Onderz. TNO, 's-Gravenhage.
- Doorenbos, J. and W.O. Pruitt, 1977.
Guideline for predicting crop water requirements. Irrigation and Drainage Paper no 24. F.A.O., Rome.
- Feddes, R.A., 1987.
Crop factors in relation to Makkink reference-crop evapotranspiration. In: Versl. en Meded. 39: p. 33-45. Comm. Hydr. Onderz. TNO, 's-Gravenhage.
- Frantzen, A.J. en W.R. Raaff, 1982.
De relatie tussen de globale straling en de relatieve zonnenschijnduur in Nederland. WR 82-5. K.N.M.I., De Bilt.
- Gash, J.H.C., 1979.
An analytic model of rainfall interception by forests. Quart. J. Roy. Meteorol. Soc. 105: p.43-55.
- Hooghart, J.C., 1987.
Verdampingscijfers: Van Penman naar Makkink. Waterschapsbelangen 72 (8): p. 232-235.
- Keijman, J.Q., 1960.
A test of the aerodynamic method for the determination of evaporation. Publication 53 (Commission of Land Erosion): p.451-456. I.A.H.S.
- Keijman, J.Q., 1963.
Instruments for the determination of the vertical transport of watervapour. An analysis of the results obtained by this method. In: Proceedings General Assembly of Berkely, Committee for evaporation. Publication 62: p.232-236. I.A.H.S.
- Keijman, J.Q., 1981.
Theoretical background of some methods for the determination of evaporation. Versl. en Meded. 28: p.12-23. Comm. Hydr. Onderz. TNO, 's-Gravenhage.
- Keijman, J.Q. and R.W.R. Koopmans, 1973.
A comparison of several methods of estimating the evaporation of Lake Flevo. In: Hydrology of lakes. Proceedings of the Helsinki symposium. Publication 1091: p.225-232. I.A.H.S.

- Keijman, J.Q. en W. Schipper, 1978.
Waterhuishouding Lysimeters Castricum 1967. Een vergelijking van de verdamping berekend uit de waterbalans met de verdamping volgens Penman. WR 78-5. K.N.M.I., De Bilt.
- Kohsiek, W., 1981.
A rapid-circulation evaporation chamber for measuring bulk stomatal resistance. J. Applied Meteorol. 20: p.42-52.
- Kohsiek, W., 1982.
Measuring C_T^{-2} , C_Q^{-2} and C_{TQ} in the unstable surface layers of heat and moisture. Boundary-Layer Meteorol. 24: p.89-107.
- Kohsiek, W. and M.H.A.J. Herben, 1983.
Evaporation derived from optical and radio-wave scintillation. Applied Optics. 22: p.2566-2570.
- Koopmans, R.W.R., 1969.
De verdamping van open water, resultaten van een waterbalansstudie in Zuidelijk Flevoland. Nota B 68-1. Dienst der Zuiderzeewerken, afd. Waterloopkunde, 's-Gravenhage.
- Kramer, C. 1957.
Berekening van de gemiddelde grootte van de verdamping voor verschillende delen van Nederland volgens de methode van Penman. Meded. en Verhand. 70. K.N.M.I., De Bilt.
- Makkink, G.F., 1959.
Lysimeters in the Netherlands. In: Symposium of Hannoversch-Münden. Vol. II: Lysimeters. Publication 49: p.5-12. I.A.H.S.
- Makkink, G.F., 1960.
De verdamping uit vegetaties in verband met de formule van Penman. Versl. en Meded. 4: p.90-115. Comm. Hydr. Onderz. TNO, 's-Gravenhage.
- Menenti, M., 1984.
Physical aspects and determination of evaporation in deserts applying remote sensing techniques (The-sis University of Wageningen). Instit. voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Wageningen.
- Monteith, J.L., 1965.
Evaporation and environment. Symp. Soc. Exp. Biol. XIX: p.205-234.
- Monteith, J.L., 1973.
Principles of environmental physics. Edward Arnold, Londen.
- Monteith, J.L., 1981.
Evaporation and surface temperature. Quart. J. Roy. Meteorol. Soc. 107: p.1-27.
- Nieuwenhuis, G.J.A., 1983.
Remote sensing vluchten in 1982 en 1983, organisatorische aspecten. Remote sensing studieproject Oost Gelderland. Deelrapport 2.
- Nieuwenhuis, G.J.A. en C.L. Palland, 1982.
Verdamping van een aardappelgewas en de meting daarvan via remote sensing. Rp. 2. Instit. voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Wageningen.
- Penman, H.L., 1948.
Natural evaporation from open water, bare soil and grass. Series A 193: p.120-145. Proc. Roy. Soc., London.
- Priestley, C.H.B. and R.J. Taylor, 1972.
On the assesment of surface heat flux and evaporation using large-scale parameters. Monthly Weather Review 100: p.81-92.
- Projectgroep Grevelingen zout/zoet, 1982.
De landbouwwatervoorziening in Zuidwest Nederland. Verslag van de Werkgroep Landbouw, Rijks-waterstaat, 's-Gravenhage.
- Romijn, E., 1985.
Valkuilen bij het bepalen van de potentiële verdamping van grasland door middel van "f"-factoren. H₂O 18(12): p.265-270.
- Rijtema, P.E., 1965.
An analysis of actual evapotranspiration. Agric. Res. Rep. 659, Pudoc, Wageningen.

- Rijtema, P.E. en A.H. Ryhiner, 1968.
De lysimeters in Nederland (III). Aspecten van verdamping en resultaten van verdampingsonderzoek. Versl. en Meded. 14: p.86-149. Comm. Hydr. Onderz. TNO, 's-Gravenhage.
- Schotanus, P., F.T.M. Nieuwstad and H.A.R. de Bruin, 1983.
Temperature measurements with a sonic anemometer and its application to heat and moisture fluxes. Boundary-Layer Meteorology 28: p.81-93.
- Sellers, W.D., 1965.
Physical Climatology. Univ. of Chicago Press.
- Soer, G.J.R., 1980.
Estimation of regional evapotranspiration and soil moisture conditions using remotely sensed crop surface temperature. Remote Sensing of Environment 9: p.27-45.
- Stewart, J.B., and H.A.R. de Bruin, 1984.
Preliminary study of dependence of surface conductance of Thetford forest on environmental conditions. Proc. of Forest Env. Measurements Conference. Oak Ridge, Tennessee. October 23-28.
- Stricker, J.N.M., 1981.
Methods of estimating evapotranspiration from meteorological data and their applicability in hydrology. Versl. en Meded. 28: p.25-37. Comm. Hydr. Onderz. TNO, 's-Gravenhage.
- Sweers, H.E., 1976.
A nomogram to estimate the heat-exchange coefficient of the air-water interface as a function of wind speed and temperature: a critical survey of some literature. J. Hydrol. 30: p.375-401.
- Thom, A.S. and H.R. Oliver, 1977.
On Penman's equation for estimating regional evaporation. Quart. J. Roy. Meteorol. Soc. 103: p.345-357.
- Thunnissen, H.A.M. en H.A.C. van Poelje. 1984.
Bepaling van regionale gewasverdamping met remote sensing. Remote sensing studieproject Oost Gelderland, deelrapport 3.
- Verheijen, L.H.A.M. en J.H.A.M. van Steenvoorden, 1981
De stikstofhuishouding van bouwland met snijmaïs in afhankelijkheid van de kunstmest en stalmestdosering (proefveld Gortel 1971 t/m 1978). Nota 1287 Instit. voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Wageningen.
- Vries, D.A. de, 1952.
Het warmtegeleidingsvermogen van de grond. Meded. 52. Landbouw Hogeschool, Wageningen,
- Wind, R. Hzn., 1958.
The lysimeters in the Netherlands. Description of the lysimeters with a review of the records to 1954. Versl. en Meded. 3: p.165-228. Comm. Hydr. Onderz. TNO, 's-Gravenhage.
- Wind, R. Hzn., 1960.
De lysimeters in Nederland (II). Uitkomsten en bewerking der gezamenlijke gegevens. Versl. en Meded. 4: p.205-271. Comm. Hydr. Onderz. TNO, 's-Gravenhage.

3. Stroming van water in de grond

3.1. Stroming van water in de verzadigde zone

3.1.1. Algemeen

De landbouwkundige benadering van de waterhuishouding heeft lang plaatsgevonden via de invalshoek van de verzadigde grondwaterstroming en is vooral gericht geweest op ontwatering en peilbeheersing, waarbij in toenemende mate aandacht werd besteed aan de hydrologische eigenschappen van de ondergrond tot een diepte van enkele meters.

Het betrekken van de aanwezigheid en de stroming van water in de ondergrond tot op grote diepte bij waterhuishoudkundig onderzoek - de geohydrologie - werd geactiveerd nadat was gebleken dat bepaalde ingrepen, zoals de drooglegging van de IJsselmeerpolders, tot op vele kilometers afstand effecten tot gevolg hadden.

Algemeen kan worden gesteld dat waterhuishoudkundige maatregelen alleen kunnen worden getroffen als rekening wordt gehouden met kwantitatieve en kwalitatieve aspecten. Voorbeelden zijn zoute kwel in dicht bij de kust gelegen poldergebieden en de wisselwerking tussen de waterhuishouding van cultuur- en natuurterreinen, zoals die vooral in de zandgebieden kan voorkomen.

Voor enig inzicht in de stroming van water in de verzadigde zone geeft dit hoofdstuk in het kort enkele aspecten van de geohydrologie. De behandeling is minder uitputtend dan die van de onverzadigde stroming. Literatuurverwijzing bij elk onderdeel maakt een verdere uitdieping mogelijk.

Dynamische en statische factoren bepalen de intensiteit en de richting van de verzadigde grondwaterstroming.

De *dynamische factoren* kunnen van *interne* of van *externe* aard zijn.

Met *intern* wordt bedoeld: binnen een bepaald gebied dat in meerdere of mindere mate een hydrologische eenheid vormt, zoals een stroomgebied, een polder, enz. Interne factoren zijn onder andere de ontwatering van de grond, de grondwatervulling ten gevolge van neerslag en verdamping en ingrepen als grondwateronttrekking.

Voorbeelden van *externe factoren* zijn de kwel vanuit omliggende hogere gebieden of van zee naar laaggelegen polders en aanvoer van oppervlaktewater voor de aanvullende watervoorziening van gewassen of voor zoutdoorspoeling.

In- en externe factoren beïnvloeden elkaar wederzijds. In een gebied kunnen praktisch geen waterhuishoudkundige maatregelen worden getroffen zonder de externe factoren erin te betrekken.

De *statische factoren* zijn afhankelijk van de eigenschappen van het medium waarin de stroming plaats vindt. Zij wordt hoofdzakelijk bepaald door het materiaal waaruit de ondergrond is samengesteld en de ruimtelijke opbouw hiervan. Beiden zijn weer afhankelijk van de geologische processen die zich in de loop der tijden hebben voltrokken.

Voorbeelden van statische eigenschappen zijn het doorlaatvermogen van een watervoerende laag en de verticale weerstand (*c*-waarde van een slecht doorlatende klei- of leemlaag).

3.1.2. Enkele geohydrologische begrippen

De geohydrologie kent een aantal begrippen om eigenschappen en verschijnselen aan te duiden. De volgende begrippen zijn grotendeels ontleend aan de "Verklarende hydrologische woordenlijst" (*Commissie voor Hydrologisch Onderzoek TNO, 1986*)

Nr.	Term	Omschrijving	Gangbare eenheid	Dimensie	Symbool
1	berging	Het volume water dat aanwezig is in een nader aan te geven deel van de grond.	m ³	L ³	<i>V</i>
2	bergings-verandering	De verandering in berging (1).	m ³	L ³	<i>V</i>
3	doorlatendheid	Een maat voor het vermogen van een watervoerend pakket om vloeistof door te laten, gelijk te stellen aan de volumestroom (8) door een eenheid van oppervlakte, als de stijghoogtegradiënt loodrecht op het oppervlak gelijk is aan één.	m · d ⁻¹	L T ⁻¹	<i>k</i>
4	doorlaatvermogen	Een maat voor het vermogen van een watervoerend pakket om water door te laten, gelijk te stellen aan de volumestroom (8) die per breedteenheid van het watervoerend pakket en per eenheid van stijghoogtegradiënt door een watervoerende laag stroomt.	m ² · d ⁻¹	L ² T ⁻¹	<i>kD</i>
5	drainageweerstand	De weerstand tegen de grondwaterstroming naar open of gesloten leidingen, te berekenen als quotiënt van de opbolling (11) en de specifieke grondwaterafvoer (14) bij stationaire stroming.	d	T	<i>u</i>
6	drukhoogte	De hoogte van de waterkolom die een druk levert gelijk aan de relatieve waterdruk.	m	L	<i>h_p</i>
7	filtersnelheid	Snelheid met een richting gelijk aan de middelste stroomrichting van de waterdeeltjes in de directe omgeving van het beschouwde punt en met een absolute waarde gelijk aan de volumestroomdichtheid (19) in die richting.	m · d ⁻¹	L T ⁻¹	<i>v</i>

Nr.	Term	Omschrijving	Gangbare eenheid	Dimensie	Symbool
8	flux, volumestroom	Het volume water dat per tijdseenheid door een gegeven oppervlak stroomt.	$\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$	$\text{L}^3 \text{T}^{-1}$	Q, q_v
9	infiltratie	a. Het verschijnsel dat water aan het grondoppervlak de grond binnentreedt. b. De aanvulling van water die onder het grondoppervlak d.m.v. een slotenstelsel of buizenstelsel plaatsvindt. c. De voeding van de verzadigde zone die d.m.v. infiltratieputten plaatsvindt.	-	-	-
10	kwel	a. In het algemeen: het uittreden van grondwater b. In het bijzonder: het uittreden van grondwater onder invloed van grotere stijghoogten (h_0) buiten het beschouwde gebied; het uittreden van water dat binnen het gebied aan het oppervlak is toegevoerd, valt dus buiten deze term. Het uittreden kan onder meer geschieden direct aan het grondoppervlak, in sloten, drains of via capillaire opstijging.	-	-	-
11	opbolling	Het verschil tussen het hoogste punt van de grondwaterspiegel (h_m) en de waterstand in de waterlopen (h_0) ofwel het maximale hoogteverschil tussen de grondwaterspiegel en het (niet horizontale) vlak door de waterspiegels van de waterlopen.	m	L	m
12	piëzometer	Peilbuis met een zeer kort filter (enkele cm's) of met alleen een opening aan de onderzijde.	-	-	-
13	plaatshoogte	Hoogte van een deeltje grond of water t.o.v. een referentieniveau.	m	L	z
14	specifieke grondwaterafvoer	Grondwaterafvoer (de grondwatercomponent van de afvoer in een waterloop) per eenheid van oppervlakte van het stroomgebied.	$\text{m} \cdot \text{d}^{-1}$	L T^{-1}	U
15	$q_d(h)$ -relatie	De relatie die weergeeft hoeveel grondwater er naar het oppervlaktewater stroomt of hoeveel oppervlaktewater er naar het grondwater stroomt (q_d) als functie van de gemiddelde opbolling tussen de ontwateringsmiddelen (h).	-	-	-

Nr.	Term	Omschrijving	Gangbare eenheid	Dimensie	Symbool
16	$q_w(h)$ -relatie	De relatie tussen de af- of toevoer van grondwater door een horizontaal vlak dat net iets dieper ligt dan het diepste punt, tot waar de grondwaterstand daalt (q_w) en de grondwaterstand beneden maaiveld (h).	-	-	-
17	stijghoogte	De som van drukhoogte (6) en plaatshoogte (13). Deze grootte kan worden gemeten met een piëzometer (12), waarvan de hoogte t.o.v. een referentievlak bekend is. Het resultaat heeft betrekking op de plaats waar het filter is opgesteld.	m	L	h
18	verticale weerstand	De weerstand die een bepaalde laag biedt tegen een verticale stroming.	d	T	c
19	volume stroomdichtheid	Het differentiaalquotiënt van de volumestroom (8) naar het oppervlak, soms aangeduid als volumestroom per eenheid van oppervlak.	$m \cdot d^{-1}$	$L \cdot T^{-1}$	v

3.1.3 Geohydrologische indeling van het profiel

Zoals in het voorgaande reeds vermeld is, wordt de diepte en de mate van de grondwaterstroming onder meer bepaald door de geologische opbouw en de aard van het materiaal waaruit het profiel is opgebouwd. In geohydrologische zin zijn in een profiel de volgende onderdelen te onderscheiden:

Watervoerend(e) pakket(ten)

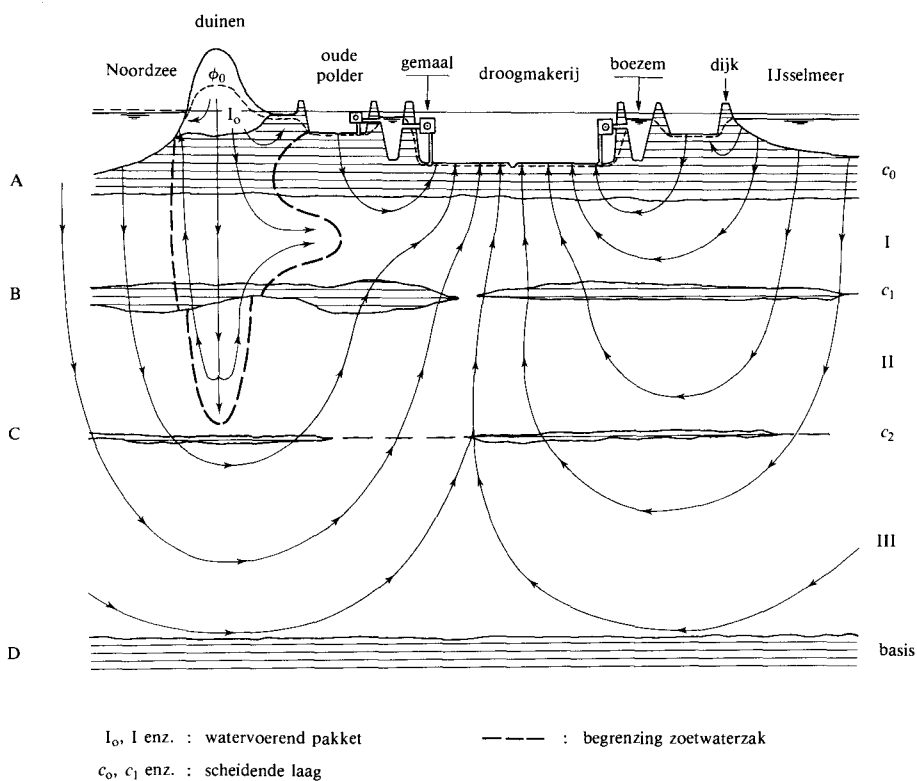
Meestal grofzandige lagen waarin overwegend horizontale grondwaterstroming plaatsvindt (I, II en III, fig. 3.1.1 en 3.1.2). Van belang zijn:

- het doorlaatvermogen of kD -waarde;
- de stijghoogte van het grondwater;
- de ruimtelijke verbreiding;
- de bergingscoëfficiënt.

Scheidende lagen

In meer of mindere mate aaneengesloten klei-, veen- en/of fijnzandige lagen, waarin hoofdzakelijk een verticale stroming plaatsvindt (B en C, fig. 3.1.1 en 3.1.2). Belangrijk in deze scheidende lagen zijn:

- de verticale weerstand of c -waarde;
- de stijghoogte van het grondwater erboven en eronder;
- de ruimtelijke verbreiding.



Figuur 3.1.1. Schema van de grondwaterstroming in de ondergrond van een poldergebied

De hydrologische basis

Een bijzondere scheidende laag, van waaronder geen invloed meer wordt uitgeoefend op de grondwaterstromingen bij het maaiveld (D, fig. 3.1.1 en 3.1.2). Van belang hierin zijn:

- de ruimtelijke verbreiding en de diepte.

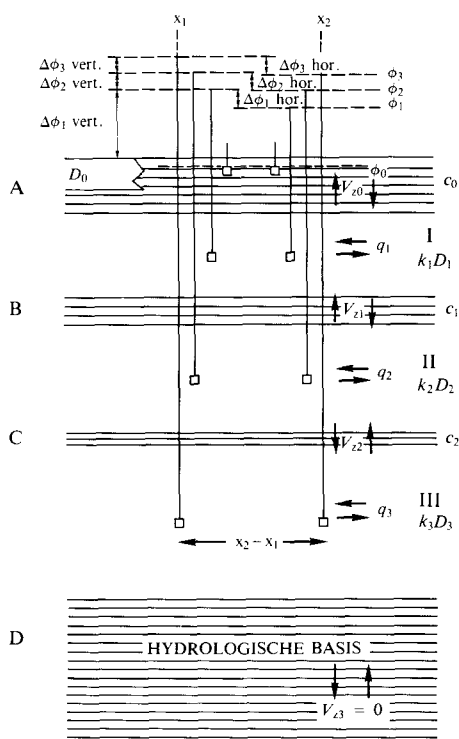
Het afdekkend pakket

Eveneens een scheidende laag die de invloed van de grondwaterstroming in het watervoerend pakket in meer of mindere mate afschermt van de processen aan het maaiveld. Het afdekkend pakket is veelal samengesteld uit materiaal met een relatief lage doorlatendheid (klei, veen, slibhoudend fijn zand); de stromingsrichting is overwegend verticaal (A, fig. 3.1.1 en 3.1.2). Van belang zijn:

- a. de verticale weerstand of c -waarde;
- b. de stijghoogte van het grondwater eronder, de grondwaterstand en het peil van het open water;
- c. de ruimtelijke verbreiding.

Het geheel van watervoerende, afdekkende en scheidende lagen boven de hydrologische basis wordt het hydrologische pakket genoemd. Het is overigens niet noodzakelijk dat overal alle onderdelen van het profiel aanwezig zijn.

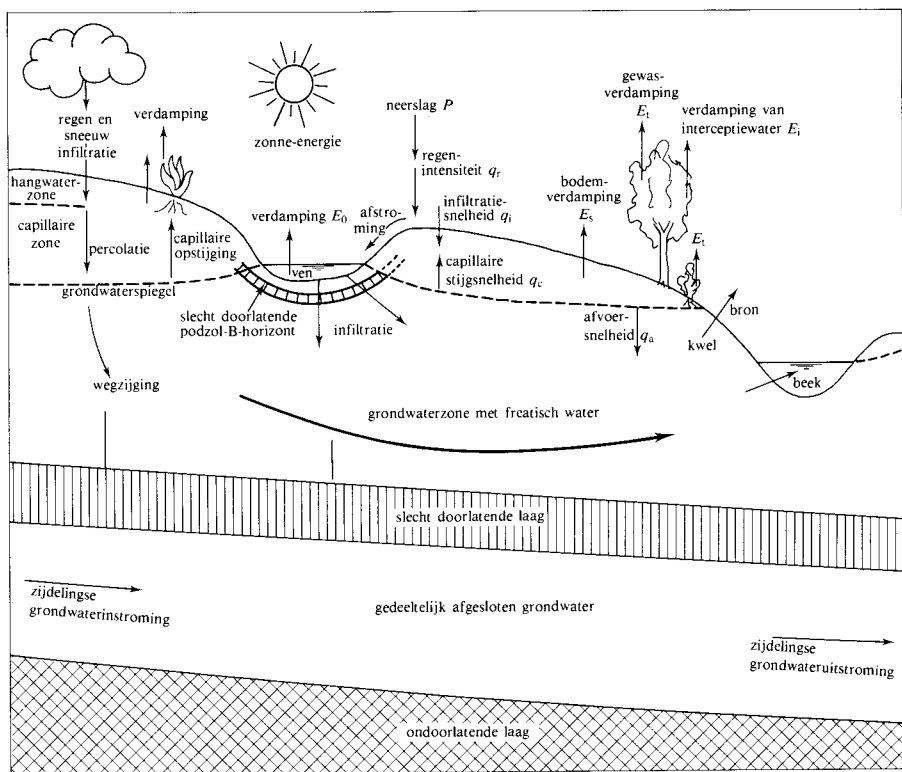
Figuur 3.1.2.
Hydrologische grootheden, die worden
gebruikt bij de berekening van de grond-
waterstroming.



Legenda (figuur 3.1.2. en 3.1.4)

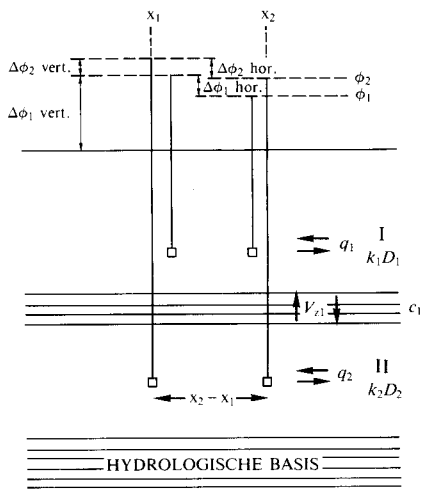
Hydrologische grootheden gebruikt voor de berekening van grondwaterstroming

Hydrologische grootheid	Betekenis	SI-eenheid	Dimensie
$k_n D_n$	doorlaatvermogen van het n^e watervoerend pakket	$m^2 \cdot d^{-1}$	$L^2 T^{-1}$
c_n	verticale weerstand afdekkend pakket $n = 0$, of n^e scheidingslaag	d	T
$q_{zk,n}$	verticaal naar boven gerichte stroomsnelheid in het afdekkend pakket $n = 0$ of n^e scheidingslaag (kwel)	$m \cdot d^{-1}$	$L T^{-1}$
$q_{zi,n}$	verticaal naar beneden gerichte stroomsnelheid in het afdekkende pakket $n = 0$ of n^e scheidingslaag (infiltratie)	$m \cdot d^{-1}$	$L T^{-1}$
Q_n	horizontale (volume) flux in een verticale doorsnede in het n^e watervoerend pakket per eenheid van lengte loodrecht op de doorsnede	$m^3 \cdot d^{-1}$	$L^3 T^{-1}$
$H_{h,n}$	stijghoogte van freatisch water $n = 0$ en in het n^e watervoerend pakket	m	L



Figuur 3.1.3. Beweging van water in een hellend landschap met namen en symbolen van de processen.

Figuur 3.1.4. Geohydrologisch schema van een hellend zandgebied. (Voor legenda symbolen: zie legenda bij figuur 3.1.2).



3.1.4. Geohydrologie en topografie

De geologische geschiedenis is de oorzaak van de verdeling van Nederland in:

- a. Gebieden met beheerste peilen in de waterlopen (overwegend polders), hoofdzakelijk bestaande uit klei- en veengronden.
- b. Gebieden met natuurlijke afwatering (overwegend hellende gebieden), hoofdzakelijk bestaande uit zandgebieden.

Polders

Een polder is een gebied waarin een van de omgeving afwijkend niveau van het oppervlaktewater wordt gehandhaafd. Grondwater van het gebied met een hoog peil zal stromen naar dat met een laag peil (kwel).

Figuur 3.1.1 geeft een globaal beeld van de in de ondergrond optredende stromingen, terwijl in figuur 3.1.2 een schema is weergegeven van de berekening van deze processen. Uit het schema blijkt dat twee typen grondwaterstromingen worden onderscheiden:

- een overwegend horizontale stroming in de watervoerende pakketten;
- een overwegend verticale stroming in het afdekkend pakket en de scheidende lagen.

Zandgebieden

In de zandgebieden volgt de grondwaterstand in grote lijnen de topografie van het terrein (fig. 3.1.3). Meestal komen twee afwateringspatronen voor, namelijk een grootschalig – in dit geval naar de rivier – en een kleinschalig afwateringssysteem naar beken, sloten, greppels, enz. In het algemeen zal dit resulteren in een zekere kwel langs onder andere beken, terwijl wegzijging zal optreden in hoge ruggen. Voor de berekening van de grondwaterstroming is een geohydrologisch schema weergegeven in figuur 3.1.4.

Als een gevolg van de relatief lage verticale weerstand (c -waarden) van het afdekkend pakket is – in tegenstelling tot het poldergebied – in zandgebieden veelal het gehele hydrologische pakket betrokken bij het afvoerproces.

Een ander kenmerkend verschil is dat in de zandgebieden meer dan één ontwateringsniveau is te onderscheiden. In het winterhalfjaar namelijk nemen alle waterlopen aan het afvoerproces deel. Naarmate de grondwaterstand daalt, nemen steeds minder waterlopen hieraan deel, waarbij in de regel de kleinere waterlopen het eerst droogvallen. Dit verschijnsel leidt tot een geleidelijke toename van de drainageweerstand bij een dalende grondwaterstand en heeft een kromlijinig verloop van de betreffende $q_d(h)$ -relatie tot gevolg, in tegenstelling tot het poldergebied, waar het verloop kan variëren van rechtlijnig tot enigszins kromlijinig (fig. 3.1.5).

Uit het voorgaande valt af te leiden dat voor geohydrologische berekeningen niet bepalend is met welke grondsoorten men in een gebied te maken heeft, doch dat hiervoor de geografische omstandigheden van meer belang zijn. In alle gebieden worden dezelfde grootheden gebruikt, doch de waarden zullen van gebied tot gebied verschillen.

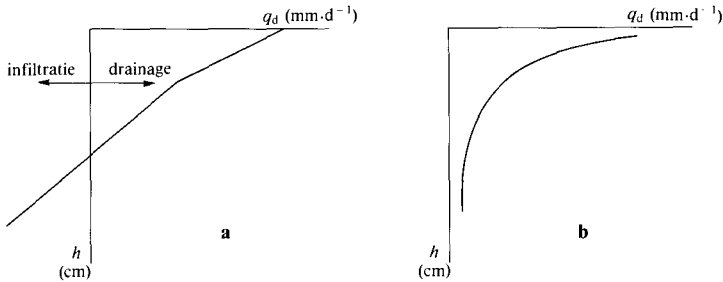
Voor de geohydrologische berekeningen is van belang om op zo nauwgeurig mogelijke wijze de benodigde constanten te bepalen. Hiervoor staan diverse methoden met verschillende betrouwbaarheid ter beschikking, waarvan in tabel 3.1.1 een overzicht is gegeven.

Tabel 3.1.1. Mogelijkheden voor de toepassing van diverse methoden ter bepaling van geohydrologische constanten met een geschatte (indicatieve) standaardafwijking in % van de bepaling (Commissie Grondwaterwet Waterleidingbedrijven, 1983).

Proef	Bepaling									Horizontale repre- sentativiteit	Kos- ten
	A	B	C	D	E	F	G	H	I		
1	-	-	$kD \pm 10$	$c \pm 50$	$L \pm 50$	$S \pm 20$	-	-	-	+++	xxxx
2	$k \pm 10$	$k \pm 10$	$kD \pm 15$	$c \pm 50$	$L \pm 50$	$S \pm 20$	-	$D \pm 10$	-	+++	xxxx
3	-	-	$kD \pm 5$	$c \pm 10$	$L \pm 10$	$S \pm 10$	-	-	a	++++	xxxxx
4	-	-	$kD \pm 20$	-	-	-	-	-	-	++	xx
5	-	-	$kD \pm 50$	-	-	-	-	-	b	++	x
6	$k \pm 10$	$k \pm 10$	-	-	-	-	-	-	-	+	xxx
7	$k \pm 30$	-	-	-	-	-	-	-	-	+	x
8	-	-	-	-	-	-	-	-	c	++	xx
9	-	-	kD	c	L	-	-	-	-	++++	x
10	k	k	kD	c	L	S	P	D	-	+++++	xx
11	k	k	kD	c	L	S	P	D	-	+++++	xxx
12	-	-	-	-	-	-	-	-	d	+++	xx
13	-	-	-	-	-	-	-	$D \pm 1$	-	+	xxx
14	$k \pm 10$	$k \pm 10$	-	-	-	-	-	-	-	+	xx
15	$k \pm 50$	-	-	-	-	-	-	-	-	++	x
16	$k \pm 40$	-	-	-	-	-	-	-	e	++	xx
17	-	-	-	-	-	-	P	$D \pm 1$	f	++	x
18	-	-	-	-	-	-	P	$D \pm 1$	g	++	x
19	-	-	-	-	-	-	-	$D \pm 10$	h	+++++	xxx
20	-	-	-	-	-	-	P	-	-	++	xxx

Toelichting tabel 3.1.1.

Proef:			Bepaling:		
1. De klassieke pompproef	11. Inverse modellen (afhankelij k van de aard)	A. horizontale doorlatendheid			
2. Pompproeven ter bepaling van de verticale doorlatend- heid	12. Getijvoortplanting	B. verticale doorlatendheid			
3. Pompproeven op grote schaal (praktijkproeven)	13. Verkenningsboringen	C. doorlaatvermogen			
4. Putproeven	14. Doorlatendheidsproeven	D. hydraulische weerstand			
5. Opbrengstproeven	15. Interpretatie van boorbe- schrijvingen	E. spreidingslengte			
6. Puntproeven (als minipomp- proef)	16. Granulair onderzoek	F. bergingscoëfficiënt			
7. Stijg- en uitzakproeven	17. Onderzoek in onverbuisde boorgaten	G. porositeit			
8. Slingerproeven	18. Onderzoek in verbuisde boorgaten	H. dikte aquifer			
9. Onderzoek van regionale waterbalansen	19. Bovengrondse geofysische metingen	I. overige bepalingen			
10. Modelkalibratie (afhankelijk van de aard van het model)	20. Proeven ter bepaling van de porositeit	a. secundaire effecten			
		b. opbrengst			
		c. skinfactor, kD, S			
		d. $kDc, S/kD$			
		e. zeefkromme			
		f. kwaliteit grondwater			
		g. klei-afdichtingen			
		h. zoet/brak grensvlak			
Horizontale representativiteit			Kosten		
+++++	zeer groot		xxxxx	zeer hoog	
++++	groot		xxxx	hoog	
+++	matig		xxx	matig	
++	gering		xx	laag	
+	zeer gering		x	zeer laag	



Figuur 3.1.5. Voorbeelden van een $q_d(h)$ -relatie in poldergebieden (a) en in zandgebieden (b).

3.1.5. Grondwatermodellen

Het complex van dynamische en statische factoren (zie par. III. 3.1.1) is de basis van de grondwaterstroming. Naar de verzadigde stroming is sinds de helft van de vorige eeuw systematisch onderzoek gedaan. Een belangrijke ontwikkeling daarbij is geweest de door *Darcy* (1856) geformuleerde wetmatigheid voor de waterstroming door een poreus medium.

De wet van Darcy luidt (fig. 3.1.6):

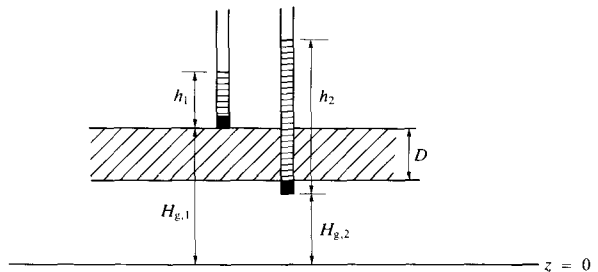
$$q = k_{\text{sat}} \frac{\Delta H_h}{s} \quad (3.1.1.)$$

$$\text{of } Q = k_{\text{sat}} \cdot D \frac{\Delta H_h}{s} \quad (3.1.2)$$

waarin:

Q	= debiet of volumestroom	$(\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1})$
q	= filtersnelheid. Dit is een schijnbare snelheid, daar dit alleen de werkelijke snelheid is als geen gronddeeltjes aanwezig zijn	$(\text{m} \cdot \text{d}^{-1})$
k_{sat}	= verzadigde doorlatendheid	$(\text{m} \cdot \text{d}^{-1})$
D	= doorsnede	(m^2)
ΔH_h	= verschil in stijghoogte	(m)
s	= afstand of lengte	(m)

Figuur 3.1.6.
Verticale stroming door een kleilaag.



Uitgaande van deze wet zijn sindsdien talloze methoden ontwikkeld om de verzadigde grondwaterstroming te kwantificeren, waarmee de effecten van voorgenomen ingrepen zijn te voorspellen.

De methoden zijn onderverdeeld in:

- fysische schaalmodellen;
- analoge modellen;
- wiskundige modellen.

Fysische schaalmodellen

Toepassing van fysische schaalmodellen die de werkelijke situatie op schaal weergeven in bijvoorbeeld zandmodellen, is door de komst van de computer en de daarmee te berekenen wiskundige modellen op de achtergrond geraakt.

Analoge modellen

Het voorgaande geldt tevens voor de analoge modellen. Deze gaan uit van de analogie tussen natuurkundige wetten die zowel grondwaterstroming als andere processen beheersen.

Voorbeelden zijn: elektrische stroom (teledelos-modellen, de elektrolyttank en het weerstandsnetwerk) en de laminaire stroming van vloeistof tussen parallelplaten (spleetmodellen).

Wiskundige modellen

Bij wiskundige benaderingen zijn twee hoofdgroepen te onderscheiden:

- analytische formules;
- numerieke grondwatermodellen.

Analytische formules

Deze formules zijn afgeleid uit de differentiaalvergelijking die gebaseerd is op de wet van Darcy en de wet van behoud van massa en energie (continuïteitsvergelijking). De analytische formules kunnen veelal alleen worden afgeleid voor sterk geschematiseerde geohydrologische situaties. Voor veel praktijkgevallen zijn ze evenwel goed bruikbaar, zeker ter verkrijging van een eerste indicatie. De eenvoudige hanteerbaarheid en de grote doorzichtigheid zijn belangrijke voordelen van de analytische formules. Voor meer informatie over analytische formules wordt verwezen naar *Kruseman en De Ridder* (1983), *Commissie voor Hydrologisch Onderzoek TNO* (1964) en naar publikaties van *Ernst* (1964, 1980), *Ernst e.a.* (1970) en *Bruggeman* (1973).

Numerieke grondwatermodellen

De numerieke oplossing, momenteel de in de praktijk meest gebruikte methode voor het oplossen van de verzadigde grondwaterstroming met grondwatermodellen, wordt in par. III. 3.1.6 toegelicht. Daarbij is onderscheid gemaakt tussen een *eenvoudige* numerieke benadering en de *complexe* numerieke oplossingsmethodiek.

3.1.6. Veel gebruikte modellen

Eenvoudige numerieke benadering

Voor de berekening van een stationaire grondwaterstroming in een verticaal vlak kunnen de volgende formules worden gebruikt:

- Horizontale stroming (zie formule 3.1.1):

$$Q_{x, n} = k_{\text{sat}, n} \cdot D_n \frac{H_{n, x1} - H_{n, x2}}{x1 - x2} \quad (3.1.3)$$

- Verticale stroming:

$$q_{z, n} = \frac{H_{h, n+1} - H_{h, n}}{c_n} \quad (3.1.4)$$

(afgeleid uit 3.1.1)

Afleiding:

$$q = K_{\text{sat}, v} \frac{\Delta H_h}{s} = K_{\text{sat}, v} \frac{\Delta H_h}{D} = \frac{\Delta H_h}{\frac{D}{K_{\text{sat}, v}}} = \frac{\Delta H_h}{c_n} = \frac{H_{h, n+1} - H_{h, n}}{c_n}$$

waarin:

Q_n	= horizontale stroming in het n^{e} watervoerend pakket	$(\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1})$
$k_{\text{sat}, n} \cdot D_n$	= doorlaatvermogen in het n^{e} watervoerend pakket	$(\text{m}^2 \cdot \text{d}^{-1})$
$k_{\text{sat}, v}$	= verzadigde verticale doorlatendheid	(m)
H_n	= stijghoogte van het grondwater in het n^{e} watervoerend pakket	(m)
x	= horizontale coördinaat	(m)
$q_{z, n}$	= verticale stroming door de n^{e} scheidende laag	$(\text{m} \cdot \text{d}^{-1})$
c_n	= verticale weerstand van de scheidende laag	(d)
D	= dikte pakket	(m)

De formules 3.1.3 en 3.1.4 hebben betrekking op een twee-dimensionale grondwaterstroming in een verticaal vlak, die wordt benaderd door uit te gaan van een uitsluitend horizontale grondwaterstroming in het watervoerend pakket en een verticale in de scheidende laag. Door het traject $x_1 x_2$ (elementgrootte) zo te kiezen dat het rechtlijnig verloop tussen x_1 en x_2 weinig afwijkt van het veelal kromlijinig verloop van de stijghoogte, wordt een goede benadering van de werkelijke situatie verkregen.

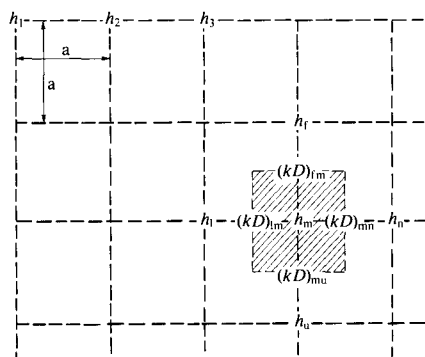
Als er sprake is van een bijzondere geometrie, bijvoorbeeld een kwelstrook met evenwijdige grenzen in een polder, zijn analytische oplossingen beschikbaar (Mazure, 1936).

Voor het berekenen van een stationaire drie-dimensionale grondwaterstroming wordt met behulp van de formules 3.1.3 en 3.1.4 tevens de stroming in de y -richting opgenomen. Er wordt dan in watervoerende pakketten een horizontale stroming in het x - y -vlak verondersteld en een verticale in de slecht doorlatende lagen (in z -richting). Het betreffende

gebied wordt hiervoor opgedeeld in een aantal elementen. In het onderstaande is gekozen voor twee onderling loodrechte stelsels van evenwijdige lijnen in het x-y-vlak, die het gebied opdelen in vierkanten met zijden a (fig. 3.1.7).

Figuur 3.1.7

Notatie van de grondwaterstijghoogte en het doorlatend vermogen zoals gebruikt in de vergelijking.



Voor een willekeurig roosterpunt, aangeduid met de indices 1, 2, 3 en 4 gaan de formules 3.1.3 en 3.1.4 voor het centraal gekozen roosterpunt over in de volgende vorm.

$$(k_{\text{sat}}D)_{\text{fm}} (H_{\text{h, f}} - H_{\text{h, m}}) + k_{\text{sat}}D_{\text{lm}} (H_{\text{h, l}} - H_{\text{h, m}}) + (k_{\text{sat}}D)_{\text{mn}} (H_{\text{h, n}} - H_{\text{h, m}}) + k_{\text{sat}}D_{\text{mu}} (H_{\text{h, u}} - H_{\text{h, m}}) + q_{\text{z, m}o} a^2 + (q_{\text{z, m}b} a^2 \quad (3.1.5)$$

waarin:

k_{sat}	= verzadigde doorlatendheid	$(\text{m} \cdot \text{d}^{-1})$
D	= doorsnede	(m^2)
$H_{\text{h, x}}$	= stijghoogte in knooppunt x	(m)
$q_{\text{z, m}}$	= verticale stroming door de scheidende laag onder (o) en boven (b) het knooppunt	$(\text{m} \cdot \text{d}^{-1})$
a^2	= invloedsooppervlakte van een knooppunt	(m^2)

De vergelijkingen 3.1.3, 3.1.4 en 3.1.5 kunnen toegepast worden voor meer dan één laag, indien rekening wordt gehouden met de sommatie van q_{z} . De uitvoering wordt praktisch beperkt door het aantal roosterpunten.

Automatisering van het rekenwerk kan worden verkregen door gebruik te maken van de computer. In dat geval overigens wijkt de eenvoudige benadering weinig meer af van de in de volgende paragraaf te behandelen numerieke modellen.

Voor de berekening van stationaire grondwaterstromingen naar bronnen of putten (radiale stroming) gelden andere formules (Kruselman en De Ridder, 1983).

Numerieke modellen

Achtereenvolgens zal in het kort worden ingegaan op de formules en de numerieke oplossingsmethoden die ten grondslag liggen aan de numerieke modellen. Daarna zal er een classificatie worden gegeven van de numerieke grondwatermodellen en tenslotte zal er nog enige informatie gegeven worden over de invoergegevens en met name over de randvoorwaarden.

Formules en oplossingsmethodiek

Evenals de analytische formules en de in de vorige paragraaf behandelde eenvoudige benadering zijn de numerieke modellen gebaseerd op de wet van Darcy en de continuïteitsvergelijking.

De continuïteitsvergelijking houdt in dat er geen massa verloren kan gaan of bij kan komen. Met nadere woorden:

hoeveelheid instromend water = hoeveelheid uitstromend water $\pm$ verandering in de berging

Combinatie van beide vergelijkingen levert voor een watervoerende laag met horizontale grondwaterstroming de volgende vergelijking op:

$$\frac{\delta}{\delta x} (k_{\text{sat}} D \frac{\delta Q}{\delta x}) + \frac{\delta}{\delta y} (k_{\text{sat}} D \frac{\delta Q}{\delta y}) = S \frac{\delta Q}{\delta t} + \Sigma Q_i \quad (3.1.6)$$

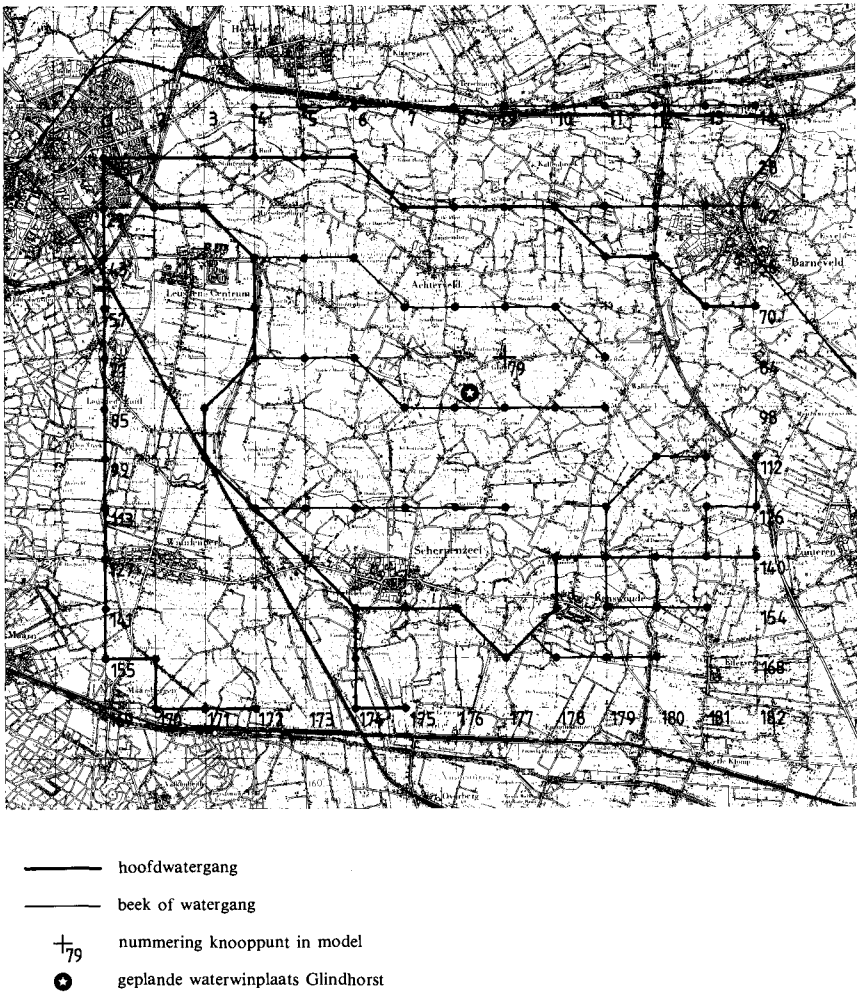
waarin:

D	= dikte van de watervoerende laag	(m)
S	= bergingscoëfficiënt	($\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{m}^{-1}$)
t	= tijd	(d)
x, y	= x- en y-richting	(m)
Q_i	= som van in- en uitstromende hoeveelheden water $Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots$ (grondwateraanvulling, wateronttrekking, kwel, wegzijging, enz.)	($\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$)

Aan de stromingsvergelijking liggen een aantal aannamen ten grondslag (laminare stroming, onsamendrukbare vloeistof, constante dichtheid, constante viscositeit, constante dikte watervoerend pakket en verticale stromingscomponent in watervoerend pakket verwaarloosbaar klein), die voor de meeste praktijktoepassingen in Nederland toelaatbaar worden verondersteld.

De stromingsvergelijking is voor situaties waarmee men in de praktijk vaak te maken heeft (gebieden met een onregelmatige vorm, geen evenwijdige waterlopen, onregelmatige neerslag, verdamping, wateronttrekking, wisselende oppervlaktewaterpeilen, enz.) alleen numeriek op te lossen. In tegenstelling tot de analytische methoden wordt geen exacte, maar een benaderde oplossing gevonden. Bij de toepassing van een numerieke methode wordt de differentiaalvergelijking die de stroming beschrijft, omgezet in een aantal algebraïsche vergelijkingen.

De in Nederland gebruikte modellen gaan praktisch allemaal uit van de eindige elementen methode als numerieke oplossingsmethode. Kenmerkend voor numerieke oplossingsmethoden is dat de ruimte en de tijd wordt gediscretiseerd. Het onderzoeksgebied wordt verdeeld in elementen die voor de tweedimensionale horizontale stroming driehoekig, rechthoekig of vierkant van vorm zijn (zie fig. 3.1.8). Kleinere elementen geven een nauwkeuriger benadering van de stromingsvergelijking. De hoekpunten van ieder element worden knooppunten genoemd.



Figuur 3.1.8 Onderzoeksgebied Gelderse Vallei met het gebruikte modelnetwerk. (Van Lanen, 1981).

Het resultaat van de omzetting van de stromingsvergelijking met behulp van de eindige elementen methode is een lineaire vergelijking voor ieder knooppunt. Voor een uitvoerige beschrijving van de afleidingen wordt verwezen naar de diverse handboeken (bijvoorbeeld Keuning, 1977 en TNO-ad hoc groep Grondwatermodellen en computerprogrammatuur, 1978).

In de lineaire vergelijking komen de doorlaatvermogens van de aangrenzende elementen voor, de stijghoogten van de omliggende knooppunten en de stijghoogte van het betreffende knooppunt. Daarnaast kan op een knooppunt voor de onttrekking van water (berekening, drinkwater, drainage) of voor toevoeging van water (infiltratie, grondwatervulling) aan de lineaire vergelijking een term Q worden toegevoegd, die weer opgedeeld mag zijn in verschillende deeltermen.

De op een knooppunt onttrokken of toegevoegde hoeveelheid water hoeft niet constant te zijn, maar mag afhangen van de nog onbekende stijghoogten in de betreffende knooppunten. Dit komt in Nederland nog al eens voor zoals bijvoorbeeld bij drainage of infiltratie, waarvan de grootte ten dele wordt bepaald door de stijghoogte (opbolling). Hetzelfde geldt uiteraard ook voor de kwel of wegzijging naar aangrenzende watervoerende pakketten. Indien er kwel of wegzijging naar een aangrenzend pakket is, wordt een deelterm van Q aan de lineaire vergelijking toegevoegd.

Deze luidt:

$$Q_1 = \frac{H_h - H_{h,1}}{c} \cdot O \quad (3.1.7)$$

waarin:

Q_1	= kwel of wegzijging	$(m^3 \cdot d^{-1})$
c_1	= verticale weerstand van slecht doorlatende laag tussen 2 watervoerende lagen	(d)
$H_{h,1}$	= stijghoogte in aangrenzende watervoerende laag	(m)
O	= invloedsoppervlakte van een knooppunt	(m^2)

Het resultaat van de uitwerking volgens de eindige elementen methode is, zoals al eerder vermeld, een stelsel van lineaire vergelijkingen. Het aantal vergelijkingen is gelijk aan het aantal knooppunten.

De oplossing is voor ieder watervoerend pakket dus gereduceerd tot het oplossen van een stelsel van n vergelijkingen met n onbekenden. De interactie tussen watervoerende pakketten onderling, met het oppervlaktewater of met de onverzadigde zone, wordt verzorgd door deeltermen van Q (bijvoorbeeld vergelijking 3.1.7). Voor de oplossing van het probleem zijn nog wel rand- en soms beginvoorwaarden nodig. Hierop wordt later nog teruggekomen. Het resultaat van de oplossing is een waarde voor de stijghoogte in elk knooppunt en elk watervoerend pakket. Met aanvullende berekeningen wordt vervolgens ook nog per knooppunt de grootte van relevante grondwaterstromingen (kwel, wegzijging, drainage, enz.) berekend. Vaak worden deze ook nog gesommeerd, zodat een waterbalans wordt berekend voor het gehele gebied.

Numerieke modellen zijn sinds de introductie van de computer in trek gekomen. Deze heeft het mogelijk gemaakt om een groot aantal vergelijkingen in een zeer korte tijd op te lossen.

Typen grondwatermodellen

In het begin van de jaren zeventig zijn voor het eerst numerieke verzadigde grondwaterstromingsmodellen op praktijkschaal toegepast. Sinds die tijd is er een groot aantal modellen ontwikkeld. Voor een uitgebreid overzicht wordt verwezen naar het verslag van de *TNO-ad hoc groep Grondwatermodellen en computerprogrammatuur* (1978). Tabel 3.1.2 geeft een overzicht van de in Nederland veel gebruikte verzadigde grondwaterstromingsmodellen. Bij de indeling is allereerst een onderscheid gemaakt tussen stationaire en niet-stationaire stromingsmodellen.

Tabel 3.1.2. Overzicht van veelgebruikte typen verzadigde grondwaterstromingsmodellen.

Moelijkheidsgraad	Stationair/ niet-stationair	Losgekoppeld/ geïntegreerd	Naam	Referentie
EENVOUDIG ↓	stationair	losgekoppeld	STATRECT	RIVM programma- documentatie
			TRIST	
	niet-stationair	losgekoppeld	TRANSRECT	RIVM programma- documentatie
			TRINS	
	niet-stationair	geïntegreerd verzadigde/ onverzadigde stroming	FEMSAT GELGAM	ICW (<i>Querner</i> , 1982) <i>De Laat e.a.</i> , 1980 <i>Kovar</i> , 1981
MOEILIJK	niet-stationair	geïntegreerd verzadigde/ onverzadigde stroming en oppervlaktewater	PEEL PREDIS	ICW (<i>Querner e.a.</i> , 1984) WL (<i>Crebas e.a.</i> , 1983)

STATIONAIRE STROMING

Hierbij veranderen fluxen en stijghoogten niet in de tijd: zij blijven constant en er treedt geen verandering in de berging op. De eerste term in het rechter lid van vergelijking 3.1.6 is daarom nul. Stationaire verzadigde grondwaterstromingsmodellen worden veel gebruikt voor hydrologische situaties die weinig veranderen in de tijd of voor langjarig gemiddelde situaties. Soms benadert men veranderingen in de tijd met een stationair stromingspatroon voor zowel het winterhalfjaar als voor het zomerhalfjaar.

NIET STATIONAIRE MODELLEN

Bij deze modellen simuleert men de stijghoogten en fluxen als functie van de tijd en wel door de tijd op te delen in tijdstappen. Na elke tijdstap wordt informatie verkregen over de stijghoogten en de fluxen. In vergelijking met de stationaire modellen wordt de werke-

lijkheid beter gesimuleerd. Er zijn echter veel meer invoergegevens nodig, zoals beginvoorwaarden en voor elke tijdstap randvoorwaarden.

Niet-stationaire modellen kunnen ook als stationaire modellen worden gebruikt. De losgekoppelde stationaire en niet-stationaire verzadigde grondwaterstromingsmodellen worden nogal eens gebruikt als superpositie-model. Dat houdt in dat niet de werkelijke stijghoogten en fluxen worden gesimuleerd, maar alleen de veranderingen als gevolg van een bepaalde hydrologische ingreep. Voorbeelden hiervan zijn een verandering van de grondwaterstand ten gevolge van het opzetten van het oppervlakte-peil of de verlagingen ten gevolge van een grondwateronttrekking (*Van Lanen*, 1983). De veranderingen mogen opgeteld (gesuperponeerd) worden omdat de verzadigde grondwaterstroming een lineair proces is.

Behalve de onderverdeling in stationair/niet-stationair kan onderscheid gemaakt worden tussen losgekoppelde en geïntegreerde modellen.

LOSGEKOPPELD

Dit wil zeggen dat alléén de verzadigde grondwaterstroming wordt beschouwd. De relatie met bijvoorbeeld het oppervlaktewater of met de onverzadigde zone wordt gelegd via randvoorwaarden. De eventuele interactie wordt dan vooraf vastgesteld en via de randvoorwaarden doorgegeven. In het geval dat het verzadigde grondwatermodel losgekoppeld is van het oppervlaktewater, moet het oppervlaktewater-peil worden opgegeven. De verzadigde grondwaterstroming heeft dan verder geen invloed op dit peil.

GEÏNTEGREERDE MODELLEN

Deze modellen daarentegen nemen onder andere de stroming van het oppervlaktewater en/of in de onverzadigde zone wél mee. In geïntegreerde modellen, waarin ook het oppervlaktewater is opgenomen, wordt het oppervlaktewater-peil dus mede onder invloed van de stijghoogte berekend.

Dit vademecum behandelt alleen de kwantitatieve verzadigde grondwaterstromingsmodellen. Voor de verzadigde grondwaterstromingsmodellen met simulatie van het transport van opgeloste stoffen wordt verwezen naar *USGS* (1976 en 1979), *Konikow en Bredehoeft* (1978) en *Van den Akker* (1982).

Invoergegevens

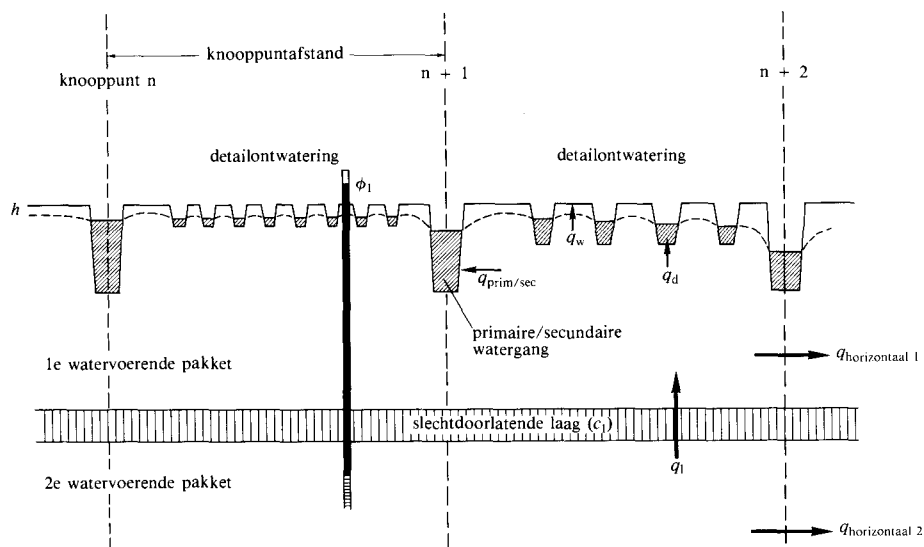
Alle in de vorige paragraaf behandelde modellen hebben invoergegevens nodig. Hiermee worden eigenschappen van de verzadigde zone vastgelegd, zoals doorlaatvermogens en verticale weerstanden. Deze kan men per watervoerend pakket of slecht doorlatende laag laten variëren en, indien dat gewenst is, ook per subgebied of zelfs per knooppunt.

Verder zijn voor de relatie met het buitengebied randvoorwaarden nodig. In de meeste gevallen geeft men voor elk knooppunt op de rand van het modelgebied de stijghoogte op. Voor een stationair model hoeft dat maar eenmaal gedaan te worden, voor een niet-stationair model moet dit bij elke tijdstap. Daarnaast moeten voor een niet-stationair model ook de beginvoorwaarden worden opgegeven. In vele gevallen geeft men dan in elk knooppunt een aan een isohypsenkaart ontleende stijghoogte op.

Er bestaat dus een duidelijk verschil in de benodigde invoergegevens tussen een stationair en een niet-stationair model. Geïntegreerde modellen moeten met nog meer gegevens worden gevoed. Daardoor daalt het aantal praktische toepassingen met toenemende complexiteit van de modellen (zie tabel 3.1.2).

De verzadigde zone, aan de bovenzijde begrensd door de onverzadigde zone, heeft in grote delen van Nederland een sterke interactie met het oppervlaktewater. Bij losgekoppelde modellen moeten deze interacties weergegeven worden via randvoorwaarden en andere functionele relaties.

Bij het oppervlaktewater onderscheidt men naast primaire en secundaire waterlopen respectievelijk rivieren/kanalen en beken nog tertiaire waterlopen (sloten en buizendrainage). Het knooppuntnetwerk (dichtheid en vorm van elementen) kiest men zodanig dat de loop van primaire en secundaire waterlopen zoveel mogelijk door knooppunten kan worden gelegd (zie fig. 3.1.9)

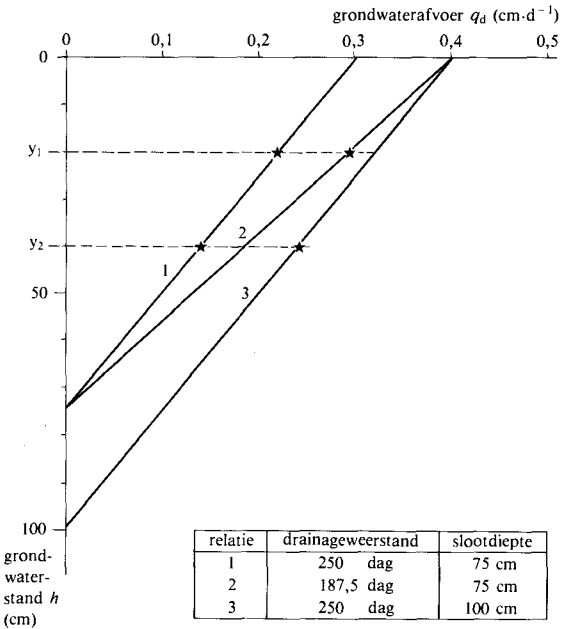


Figuur 3.1.9. Grondwaterstroming in een 2-lagen systeem.

De afvoer van grondwater naar deze waterlopen wordt door de losgekoppelde modellen in deze knooppunten geconcentreerd. De afvoer berekent men uit het per knooppunt en eventueel per tijdstap variërend peil van het oppervlaktewater en een weerstandswaarde (som van radiale weerstand en bodemweerstand).

De afvoer naar of de infiltratie vanuit de tertiaire waterlopen wordt geheel anders benaderd, omdat vanwege beperkingen in de knooppuntsafstand niet elke sloot of drainbuis in een knooppunt kan worden gelegd (zie fig. 3.1.8).

Bij de simulatie van dit afvoerproces kan gebruik worden gemaakt van grondwaterstand-afvoerrelaties. Deze zogenaamde $q_d(h)$ -relaties geven aan hoeveel water per tijdseenheid (q_d) er bij een bepaalde grondwaterstand (h) wordt afgevoerd naar of geïnfiltreerd vanuit de sloten (zie fig. 3.1.10). De gemiddelde drainageweerstand van de detailontwatering rondom het knooppunt bepaalt de helling van de $q_d(h)$ -relaties. In principe kan de $q_d(h)$ -relatie per knooppunt verschillen.



Figuur 3.1.10. $q_d(h)$ -relaties voor de grondwaterafvoer naar de detailontwatering (Gelderse Vallei).

Voor een uitvoerig overzicht over de wijze waarop de ontwatering in een model is op te nemen en hoe men de invoergegevens verzamelt, wordt verwezen naar *Van Drecht en Van Lanen* (1981). Bij losgekoppelde modellen kan men de interactie tussen de verzadigde en de onverzadigde zone per knooppunt in principe op dezelfde wijze weergeven als bij de detailontwatering. De aldus onderscheiden grondwaterstand-flux-relatie wordt de $q_w(h)$ -relatie genoemd.

In de praktijk is bij de toepassing van losgekoppelde verzadigde grondwaterstromingsmodellen in tegenstelling tot bij de onverzadigde grondwaterstromingsmodellen nog weinig ervaring opgedaan met deze $q_w(h)$ -relaties. De oorzaak hiervan is dat losgekoppelde verzadigde grondwaterstromingsmodellen veelal als superpositiemodel worden gebruikt. Men hoeft dan alleen maar de verandering van q_w ($\approx$ verandering in grondwateraanvulling) ten gevolge van een hydrologische ingreep aan te geven. Van deze verandering wordt

Een andere oorzaak is de moeilijke meetbaarheid van $q_w(h)$ -relaties voor kleine gebieds-eenheden.

Als er niet aan te ontkomen is om toch de interactie tussen de onverzadigde en de verzadigde zone mee te nemen in het verzadigde grondwaterstromingsmodel, dan neemt men over het algemeen zijn toevlucht tot geïntegreerde modellen. Het probleem van de randvoorwaarden wordt dan verschoven naar het gewas en de meteorologische gegevens. In deze modellen is de $q_w(h)$ -relatie een door het model zelf berekende interne randvoorwaarde.

3.1.7. Literatuur

- Akker, C. van den, 1982
Numerical analysis of the streamfunction in plane groundwater flow. Proefschrift. Technische Hogeschool, Delft.
- Bruggeman, G.A., 1973.
Mathematical analysis of steady and non-steady two and three dimensional flow in anisotropic aquifers. Meded. 73-1. Rijks Instit. voor Drinkwatervoorziening, 's-Gravenhage.
- Crebas, J.I. en J.H. Wesseling, 1983
PREDIS een mathematisch model voor landfase van de hydrologische kringloop. Cultuurtechn. Tijdschr. 23(3): p.113-123.
- Commissie Grondwaterwet Waterleidingbedrijven, 1983
Aanbevelingen voor het geohydrologisch onderzoek ter onderbouwing van vergunningsaanvragen voor grondwateronttrekkingen. Rp. van de Werkgroep Geohydrologische aspecten van Grondwaterwinning, CoGroWa, Utrecht.
- Commissie voor Hydrologisch Onderzoek TNO, 1964.
Steady flow of groundwater towards wells. Versl. en Meded. nr. 10. Comm. Hydr. Onderz. TNO, 's-Gravenhage.
- Commissie voor Hydrologisch Onderzoek, TNO, 1986
Verklarende hydrologische woordenlijst.
Rapporten en nota's No. 16 Comm. Hydr. Onderz. TNO, 's-Gravenhage.
- Darcy, H.P.G. 1856.
Les fontaines publiques de la ville Dyon. Paris, V. Dalmont.
- Commissie ter bestudering van de waterbehoefte van de Gelderse landbouwgronden, 1970.
Hydrologisch onderzoek van het Leerinkbeekgebied. Tweede interimrapport werkgroep I.
- Drecht, G. van en H.A.J. van Lanen, 1981.
Hydrologische modelstudie in het kader van het vooronderzoek Sleen (Drenthe). Deel I: Invoergegevens. Rp. Hy.h. 81-23. Rijks Instit. voor Drinkwatervoorziening, 's-Gravenhage.
- Ernst, L.F., 1964.
Gebruik van enige basisformules bij het kwelonderzoek in Nederlandse polders in afhankelijkheid van beschikbare gegevens. Nota 267. Instit. voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Wageningen.
- Ernst, L.F., N.A. de Ridder and J.J. de Vries, 1970.
A Geohydrologic study of East Gelderland. Verspr. Overdr. 115. Instit. voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Wageningen.
- Ernst, L.F., 1980.
Water management of nature areas. Research digest: p.62-70. Instit. voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Wageningen.
- Keuning, D.H., 1977.
De eindige elementen methode in de hydrologie. Landbouw Hogeschool, vakgroep Hydraulica en Afvoerhydrologie, Wageningen.

- Konikow, L.F. and J.D. Bredehoeft, 1978.
Computer model of two-dimensional solute transport and dispersion in groundwater. U.S. Geological Survey, Techniques of Water Resources Inv. Book 7, Chapter 2.
- Kruseman, G.P. and N.A. de Ridder, 1970.
Analysis and evaluation of pumping test data. Bull. II. Int. Instit. for Land Recl. and Impr., Wageningen.
- Kovar, K., 1981.
Model study Over-Betuwe, a model for groundwater flow and evaporation. Vol. 2, Model description. Basisrapport Comm. Bestudering Waterh.h. Gelderland, Arnhem.
- Laat, P.J.M. de and R.H.C.M. Awater, 1980.
Groundwaterflow and evapotranspiration. A simulation model. Basisrapport Comm. Bestudering Waterh.h. Gelderland, Arnhem.
- Lanen, H.A.J. van, 1981.
Enige ervaringen, opgedaan met een niet-stationair model voor grondwaterstroming en verdamping (SUM 2, GELGAM) in de Gelderse Vallei. Rp. 81-18. Rijks Instit. voor Drinkwatervoorziening, 's-Gravenhage.
- Lanen, H.A.J. van, 1983.
Berekening uit het grondwater op lagere gronden en het effect daarvan op lagere gronden. H₂O 16(16): p.369-375.
- Leynse, A., 1979.
TRINS, een eindige elementen programma voor niet-stationaire grondwaterstroming. RIVM, Leidschendam.
- Mazure, J.P., 1936.
Geohydrologische gesteldheid van de Wieringermeer. Rapporten en Meded. Zuiderzeewerken 5: p.67-131, 's-Gravenhage.
- Querner, E.P., 1982.
Program Femsat. Part. I. Calculation method for steady and unsteady groundwater flow. Nota 1557. Instit. voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Wageningen.
- Querner, E.P. and P.J.T. van Bakel, 1984.
Description of second level water. A quantity model including results. Projectgroup Southern Peel Region. Nota 1586. Instit. voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Wageningen.
- TNO-Ad hoc Groep Grondwatermodellen en computerprogrammatuur, 1978.
Rapporten en nota's, nr. 2. Comm. Hydr. Onderz. TNO, 's-Gravenhage.
- USGS, 1976 en 1979.
A model for calculating effects of liquid waste disposal in deep saline aquifers. Water Resources Investigations 76-61 and 79-96. U.S. Geological Survey, Reston (Virg.).
- Werkgroep Midden West-Nederland, 1976.
Hydrologie en waterkwaliteit van Midden West-Nederland. Regionale Studies nr. 9. Instit. voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Wageningen.
- Werkgroep Noord-Holland 1982.
Grond- en oppervlaktewater Noord-Holland benoorden het IJ. Regionale Studies nr. 16. Instit. voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Wageningen.

3.2. Strooming van water in de onverzadigde zone

3.2.1. Begrippen

De onderstaande begrippen zijn ontleend aan de Verklarende hydrologische woordenlijst, *Commissie voor Hydrologisch Onderzoek TNO* (1986).

Nr.	Term	Omschrijving	Gangbare eenheid	Dimensie	Symbool
1	berging (geborgen hoeveelheid water, waterinhoud)	Het volume water dat aanwezig is in een nader aan te geven deel van de grond. Bij grondmonsters wordt veelal gesproken van vochtinhoud.	m ³	L ³	V
2	bergingscoëfficiënt (bergingsfactor)	Het quotiënt van de verandering in specifieke berging en de bijbehorende verandering van de stijghoogte (24) c.q. grondwaterstand.	-	dim.loos	S, μ
3	bergingsverandering	Verandering in berging (1). Het wordt afgeraden om voor bergingsverandering de term berging te gebruiken.	m ³	L ³	ΔV
4	bergingsvermogen (verzadigingstekort)	Het volume water dat nodig is om een deel van de grond, met gegeven afmetingen en met gegeven waterinhoud (1), in de verzadigde toestand te brengen.	m ³	L ³	-
5	beschikbaar bodemwater (beschikbaar bodemvocht)	Het volume water dat per eenheid van horizontaal oppervlak in de bewortelbare zone aanwezig is, voor zover dit volume door de planten kan worden opgenomen.	m	L	-
6	bodemwater bodemvocht)	Water dat zich in het bovenste deel van de grond (bodem) bevindt.	-	-	-
7	bodemwatergetal (bodemvochtgehalte)	Het volume water gedeeld door het volume van de vaste stof.	-	dim.loos	θ
8	bodemwaterkarakteristiek (bodemvocht-karakteristiek)	Verband tussen de matrische component van de waterdruk en het watergehalte als volumefractie (31b) van de bodem.	-	-	-
9	capillaire opstijging (haarbuisjes-opstijging)	a. Opwaartse strooming van water boven de grondwaterspiegel. b. De opwaarts gerichte volumestroomdichtheid (29) van water boven de grondwaterspiegel.	- m · d ⁻¹	- L T ⁻¹	- V _z
10	capillaire zoom (volcapillaire zone)	Het gedeelte van de verzadigde zone dat direct gelegen is boven de grondwaterspiegel.	-	-	-

Nr.	Term	Omschrijving	Gangbare eenheid	Dimensie	Symbol
11	dichtheid van grond (volumieke massa van grond) massa van	Massa van de grond, waarin zich vaste deeltjes, vloeistof en eventueel lucht bevinden, gedeeld door het oorspronkelijk volume van de grond.	$\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	L^{-3}M	ρ_b
12	a. doorlatendheid	a. Het vermogen van de grond om vloeistof of gas door te laten.	-	-	-
	b. doorlaatfactor, doorlaat-coëfficiënt, doorlatendheids-coëfficiënt	b. Een maat voor het vermogen van de grond om vloeistof of gas door te laten, gelijk te stellen aan de volumestroom (28) door een eenheid van oppervlakte als de stijghoogtegradiënt loodrecht op het oppervlak gelijk is aan één	$\text{m} \cdot \text{d}^{-1}$	L T^{-1}	K, k
13	drukhoogte	De hoogte van de waterkolom die een druk levert gelijk aan de relatieve waterdruk (30). In de onverzadigde zone (18) en de capillaire zoom (10) is de drukhoogte negatief.	m	L	h_p
14	evenwichtswater-verdeling (evenwichtsvocht-verdeling)				
	a. evenwichts-waterverdeling na capillaire opstijging	a. Het verloop met de diepte van het watergehalte (31b) verkregen door capillaire opstijging (9) in een aanvankelijk droge grond, nadat het watertransport in de onverzadigde zone verwaarloosbaar klein is geworden.	-	-	-
	b. evenwichts-waterverdeling na uitzakking	b. Het verloop met de diepte van het watergehalte (31b) verkregen door langdurig uitzakken van water in natte grond, nadat het watertransport in de onverzadigde zone verwaarloosbaar klein is geworden.	-	-	-
15	filtersnelheid specifiek debiet, (Darcysnelheid),-af te raden: schijnbare grond-watersnelheid)	Snelheid met een richting gelijk aan de gemiddelde stroomrichting van de waterdeeltjes in de directe omgeving van het beschouwde punt en met een absolute waarde gelijk aan de volumestroomdichtheid (29) in die richting.	$\text{m} \cdot \text{d}^{-1}$	L T^{-1}	v, q
16	hydraulische potentiaal	De som van de zwaartekrachtspotential en de tensiometerdrukpotentiaal.	$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$	$\text{L}^2 \text{T}^{-2}$	ψ_h

Nr.	Term	Omschrijving	Gangbare eenheid	Dimensie	Symbool
17	hysteresis van de bodemwater-karakteristiek (waterdruk-hysteresis, hysteresis van de bodemvocht karakteristiek)	Het verschijnsel dat de bodemwater-karakteristiek (8) verschillend is al naar gelang of er bevochtiging of uitdroging optreedt. Bij bevochtiging is de zuigspanning (33) lager dan bij uitdroging als steeds gelijke vocht-gehalten (31) met elkaar worden vergeleken.	-	-	-
18	onverzadigde zone	Deel van de grond boven de grond-waterspiegel, waarin de poriën zowel water als lucht bevatten.	-	-	-
19	percolatie (doorsijpeling)	a. Neerwaartse beweging van water in de onverzadigde zone (18). b. De filtersnelheid (15) van de neerwaarts gerichte stroming van water in de capillaire zoom (10) of in de onverzadigde zone (18) ($v_z^* = -v_z$).	- $m \cdot d^{-1}$	- $L T^{-1}$	- v_z^*
20	pF	De Briggse logaritme (grondtal 10) van het getal dat, in cm of mbar genomen, overeenkomt met de matrixcomponent van respectievelijk de absolute waarde van de drukhoogte (13) of de zuig-spanning (33).	-	dim.loos	pF
21	plaatshoogte	Hoogte van een deeltje grond of water t.o.v. een referentieniveau.	m	L	z
22	potentiaal van het water (vochtpotentiaal)	De arbeid per nader aan te geven hoeveelheid water, nodig om dit water vanuit een zekere referentie-toestand over te brengen naar de beschouwde toestand. Men onderscheidt hierbij: a. arbeid per eenheid van massa (de eigenlijke potentiaal); b. arbeid per eenheid van volume (gelijk te stellen aan de waterdruk); c. arbeid per eenheid van gewicht (gelijk te stellen aan de druk-hoogte (13)). N.B.: tussen a, b en c geldt het volgende verband: $\rho\psi = p = \rho gh$, waarbij ρ = dichtheid van water en g = versnelling van de zwaartekracht.	$J \cdot kg^{-1}$ Pa m	$L^2 T^{-2}$ $L^{-1} M T^{-2}$ L	ψ, ψ_m, ψ_v p, p_m, p_v h, h_p, h_v

Nr.	Term	Omschrijving	Gangbare eenheid	Dimensie	Symbool
23	specifiek bergingsvermogen	Het bergingsvermogen (4) per eenheid van horizontaal oppervlak.	m	L	-
24	stijghoogte	De som van drukhoogte (13) en plaatshoogte (21), overeenkomend met de afstand van het peil dat met een tensiometer (25) uitmondend in het beschouwde punt, kan worden gemeten, tot het referentieniveau ten opzichte waarvan de plaatshoogte is bepaald.	m	L	h
25	tensiometer	Instrument voor het meten van de druk in de onverzadigde zone (18). In de eenvoudigste vorm is dit een met water gevulde buis, aan één kant verbonden met een vloeistofmanometer en aan de andere kant voorzien van een poreus materiaal of een waterdoorlatend membraan geplaatst in het beschouwde punt van de onverzadigde zone.	-	-	-
26	veldcapaciteit	Het watergehalte (31b) dat in de bovenlaag van de grond enige dagen na een natte periode wordt aangetroffen (zie 14). De zuigspanning (33) bij veldcapaciteit ligt meestal tussen 200 en 500 mbar afhankelijk van de grondwaterstandsdiepte. Wegens deze afhankelijkheid kan de veldcapaciteit geen constante zijn voor de desbetreffende grondsoort.	-	dim.loos	θ_{FC}
27.	verwelkingspunt	Het watergehalte (31b) van de grond waarbij het voor de plant niet meer mogelijk is om het bodemwater door middel van de wortels op te nemen. De onderdruk bij het verwelkingspunt is ongeveer gelijk te stellen aan 1.500 kPa.	-	dim.loos	θ_{WP}
28	volumestroom (volumeflux, flux, volumedebiet)	Het volume water dat per tijdseenheid door een gegeven oppervlak stroomt.	$m^3 \cdot d^{-1}$	$L^3 T^{-1}$	Q, q_v
29	volumestroomdichtheid (volumefluxdichtheid, fluxdichtheid)	Het differentiaalquotiënt van de volumestroom naar het oppervlak, soms aangeduid als volumestroom per eenheid van oppervlak. (Als het gegeven oppervlak loodrecht staat op de stroomrichting is de volumestroomdichtheid gelijk aan de absolute waarde van de filtersnelheid (15)).	$m \cdot d^{-1}$	$L T^{-1}$	v

Nr.	Term	Omschrijving	Gangbare eenheid	Dimensie	Symbool
30	waterdruk (zie 33) (relatieve waterdruk, af te raden: water-spanning)	De druk van het water ten opzichte van de atmosferische druk.	Pa	$L^{-1}M T^{-2}$	p
31	watergehalte (vochtgehalte)				
	a. waterhalte als massafractie (vochtgehalte als massafractie)	a. De massa-hoeveelheid water, die door droging bij 105°C uit de grond verdwijnt, gedeeld door de massa van de gedroogde grond.	-	dim.loos	w
	b. watergehalte als volumefractie (vochtgehalte als volumefractie)	b. Het volume water dat door droging bij 105°C uit de grond verdwijnt, gedeeld door het oorspronkelijk volume van de grond (= vaste stof + water + lucht).	-	dim.loos	θ
32	watergehalteprofiel (watergehalte-verdeling, vochtgehalteprofiel, vochtgehalte-verdeling)	Het verloop van het watergehalte (31b) op een bepaald moment in afhankelijkheid van de diepte onder het grondoppervlak.	-	-	-
33	zuigspanning	De absolute waarde van de relatieve waterdruk (30) indien deze druk een negatieve waarde heeft. Deze term wordt alleen in de onverzadigde zone (18) en de capillaire zoom (10) gebruikt.	Pa	$L^{-1}M T^{-2}$	P

3.2.2. Bodemvocht (bodemwater)

In onverzadigde grond zijn drie hoofdbestanddelen te onderscheiden:

- . vaste delen
- . lucht
- . water

De lucht en het water bevinden zich in de poriën.

Het vochtgehalte kan op twee manieren worden weergegeven:

- op volume-basis
- op massa-basis

In beide gevallen kan de waarde als een fractie (0,0 - 1,0) of als een percentage (0% - 100%) worden gegeven.

Bovendien kan het vochtgehalte gerelateerd worden aan:

- . het volume vaste delen, dit levert het *bodemwatergetal*;
- . het totale volume (vaste delen + lucht + water), dit geeft het zogenaamde *watergehalte*.
In het vervolg zal deze grootheid steeds gebruikt worden.

- Ad a. Vochtgehalte (eigenlijk: watergehalte) op volume-basis

De volumefractie vocht (θ) is als volgt te bepalen:

$$\theta = \frac{V_w}{V_t} \quad (-) \quad (3.2.1)$$

waarbij: V_w = volume van het water in het monster
 V_t = totale volume van het monster

De meest gebruikelijke werkwijze om θ te bepalen is als volgt:

Er wordt in het veld een monster gestoken van een bekend volume (veelal 100 cm³). Dit monster wordt veldvochtig gewogen en in de droogstoof bij 105°C wordt het aanwezige water verdampt. Het droge monster wordt opnieuw gewogen, en het verschil is het gewicht van het verdampte water. Omdat de soortgelijke massa van water bekend is, kan het volume van het oorspronkelijk in het monster aanwezige water berekend worden en dus ook het vochtgehalte.

Voorbeeld

100 cm³ monster ($V_t = 100 \text{ cm}^3$)

massa vochtig = 185 gram
massa droog = 160 gram
massa water = 25 gram

soortelijke massa (ρ) van water = 1 g · cm⁻³, dus

$$V_w = \frac{25}{1} = 25 \text{ cm}^3 \quad \theta = \frac{V_w}{V_t} = \frac{25}{100} = 0,25 \text{ in procenten: } 25\%$$

- Ad b. Vochtgehalte (eigenlijk: watergehalte) op massa-basis

Voor de fractie vocht op massa-basis wordt het symbool w gebruikt:

$$w = \frac{m_w}{m_s} \quad (-) \quad (3.2.2)$$

waarbij: m_w = massa van het water in het monster

m_s = massa van de (droge) vaste delen

Wanneer de gegevens uit het hier voor genoemde voorbeeld gebruikt worden:

$$w = \frac{25}{160} = 0,1563 \text{ in procenten ongeveer } 16\%$$

- Omrekening

Om w om te rekenen naar θ , is de dichtheid ρ_{bs} van de droge grond nodig.

$$\rho_{bs} = \frac{m_s}{V_t} \quad (\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}) \quad (3.2.3)$$

in het voorbeeld:

$$\rho_{bs} = \frac{160}{100} = 1,6 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$$

Uitgaande van de formules 3.2.1 en 3.2.2 levert enig rekenwerk:

$$\theta = w \cdot \rho_{bs} \quad (-) \quad (3.2.4)$$

in het voorbeeld: $0,25 = 0,1563 \times 1,6$

Om de vochtinhoud van een profiel over een bepaalde diepte uit te drukken in mm's waterschijf, wordt de volgende omrekening veel gebruikt:

1 vol. % vocht over 10 cm profiel komt overeen met 1 mm waterschijf

(Immers: $1\% \text{ van } 10 \text{ cm} = 0,01 \times 10 \text{ cm} = 1 \text{ mm}$)

In par. III. 3.9.2 worden verschillende methoden om het vochtgehalte te bepalen besproken.

3.2.3. Potentiaaltheorie

Om de energietoestand en de stroming van water in de grond te beschrijven wordt algemeen gebruik gemaakt van de zogenaamde potentiaaltheorie.

Potentiaal is dan een maat voor het vermogen van het water om arbeid te verrichten als gevolg van de plaats van dat water in een (of meer) krachtenveld(en). Bijvoorbeeld als gevolg van zijn plaats in het zwaartekrachtenveld.

In de bodemfysica wordt potentiaal het meest zuiver gedefinieerd als energie per eenheid van massa ($J \cdot kg^{-1} = m^2 \cdot s^{-2}$).

De potentiaal is opgebouwd uit een aantal deelpotentialen:

$$\psi = \psi_g + \psi_m + \psi_p + \psi_{osm} \quad (m^2 \cdot s^{-2}) \quad (3.2.5)$$

waarbij:

ψ	= totale potentiaal
ψ_g	= potentiaal t.g.v. zwaartekracht
ψ_m	= potentiaal t.g.v. matrixkrachten
ψ_p	= potentiaal t.g.v. druk (hydrostatisch en extern)
ψ_{osm}	= potentiaal t.g.v. osmose

In de hydrologie wordt potentiaal veelal gedefinieerd als energie per eenheid van gewicht. De eenheid die dan bij potentiaal hoort is die van lengte. De potentiaal kan nu uitgedrukt worden als een "hoogte". Voorbeelden hiervan zijn *stijghoogte*, *m.w.k.* (*meters waterkolom*) en *drukhoogte*.

De totale potentiaal (= stijghoogte) wordt dan weergegeven met H , de deelpotentialen met h plus een index.

Potentialen worden gedefinieerd ten opzichte van een zekere referentiestatus, bij grondwater veelal ten opzichte van water van identieke samenstelling, bij atmosferische druk, 20°C en op zeeniveau.

Bovenstaande algemene potentiaalvergelijking wordt dan:

$$H = h_g + h_m + h_p + h_{osm} \quad (m) \quad (3.2.6)$$

In de onverzadigde zone geldt:

- h_g is gelijk aan z , waarbij z de hoogte boven een referentieniveau is;
- h_m is negatief, er is arbeid nodig om water aan onverzadigde grond te onttrekken;
- h_p : de hydrostatische druk = 0 (boven grondwaterspiegel), N.B. de externe druk hoeft niet 0 te zijn;
- h_{osm} wordt meestal verwaarloosd bij zoet water.

De termen h_m en h_p worden vaak samengevoegd tot de zogenaamde drukhoogte h van het bodemvocht. Deze wordt gegeven ten opzichte van de atmosferische druk, $h = 0$ bij de grondwaterspiegel. In de onverzadigde zone is h negatief, er moet een onderdruk aangelegd worden om water aan de grond te onttrekken.

h_g komt overeen met z , de verticale afstand ten opzichte van een zeker referentieniveau, meestal de grondwaterspiegel. Deze term wordt plaatshoogte genoemd.

Samengevat levert dit:

$$H = h + z \quad (m) \quad (3.2.7)$$

waarbij:

H = stijghoogte

h = drukhoogte (negatief in onverzadigde zone)

z = plaatshoogte

Evenwichtsprofiel (evenwichtswaterverdeling)

Water stroomt van plaatsen met een hogere potentiaal naar plaatsen met een lagere potentiaal. Wanneer zich een (statisch) evenwicht ingesteld heeft, is de potentiaal overal gelijk en treedt er dus geen stroming op. Wordt de grondwaterspiegel als referentieniveau voor de plaatshoogte genomen, dan geldt op de grondwaterspiegel: $H = 0 + 0 = 0$ cm.

Aangenomen dat er evenwicht heerst, geldt ook op alle andere hoogtes boven het grondwater $H = 0$ cm; de (negatieve) drukhoogte en de plaatshoogte compenseren elkaar: $h = -z$.

Bijvoorbeeld: op 10 cm boven de grondwaterspiegel : $z = 10$ cm, $h = -10$ cm
 op 1 m boven de grondwaterspiegel : $z = 100$ cm, $h = -100$ cm

Verschillen in H bepalen richting en grootte van de stroming van het bodemvocht.

De oude termen *vochtspanning* en *zuigspanning* worden nog wel gebruikt voor de absolute waarde van de drukhoogte h . Dit moet echter dringend ontraden worden.

Wanneer de potentiaal als energie per volume wordt uitgedrukt, wordt de eenheid die van druk, bar of mbar. Als omrekening geldt: 1 mbar komt overeen met 1 cm (waterkolom).

3.2.4. Bodemwaterkarakteristiek (pF-curve)

Algemeen

De bodemwaterkarakteristiek ofwel de pF-curve geeft het verband weer tussen drukhoogte en vochtgehalte voor een bepaalde grond. Deze relaties kunnen zeer sterk uiteenlopen afhankelijk van de grondsoort. Duinzand bijvoorbeeld kan water erg slecht vasthouden, na uitlekken bedraagt het volumepercentage vocht slechts ongeveer 9 procent. Zware klei daarentegen kan na uitlekken tot wel 50 procent vocht vasthouden.

Wanneer planten zoveel mogelijk water aan de grond onttrekken, kan de drukhoogte erg lage waarden aannemen (ongeveer -16.000 cm). Een schaal van 0 cm tot -16.000 cm is nogal onpraktisch, daarom is gekozen voor een log-schaal. In plaats van de drukhoogte h wordt $\log |h|$ gebruikt, waarbij h in cm's gegeven is; deze grootte wordt de pF genoemd (dimensieloos). De relatie is in de volgende tabel weergegeven.

pF	Drukhoogte h	Toestand
$-\infty$	0 cm	verzadigd
0	-1 cm	zeer nat
1	-10 cm	nat
2	-100 cm	vochtig (ongeveer veldcapaciteit)
3	-1.000 cm	droog (kieming vertraagd)
4,2	-16.000 cm	zeer droog (verwelkingspunt)
5	-100.000 cm	luchtdroog
7	-10.000.000 cm	stofdroog

Een paar opmerkingen bij deze tabel.

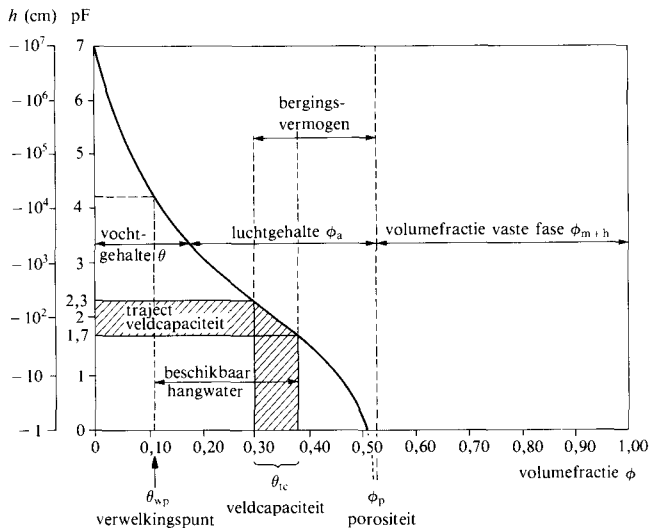
- Bij geheel verzadigde grond (op grondwaterspiegel) is de drukhoogte 0 cm, de pF is dan $-\infty$.
- Vlak boven de grondwaterspiegel (bijvoorbeeld 1 cm erboven) is de drukhoogte bij een evenwichtsprofiel -1 cm, de pF is dus $\log(1) = 0$.
- Na uitzakken van overvloedig regenwater bevat grond een zekere fractie water. Dit noemt men de *veldcapaciteit*. Dit begrip kan niet met een eenduidige drukhoogte vastgelegd worden, omdat er onderscheid gemaakt moet worden tussen gronden met hoge c.q. lage grondwaterstanden. Bij hoge grondwaterstanden kan men uitgaan van een evenwichtsvochtverdeling, waarbij de drukhoogte overal in het profiel gelijk is aan het tegengestelde van de hoogte boven de grondwaterspiegel. In Nederland werd veelal uitgegaan van een grondwaterstandsdiepte van 100 cm zodat de drukhoogte aan maai-veld -100 cm was, $pF = 2,0$ dus. Maar ook veel ondiepere grondwaterstanden komen voor, zodat ook lagere pF-waarden zich voordoen. Bij veel diepere grondwaterstanden is er geen sprake meer van een evenwichtsvochtverdeling, de veldcapaciteit wordt dan veelal gedefinieerd bij $pF = 2,3$ (praktijkgegeven).
- Bij een drukhoogte van ongeveer -16.000 cm kunnen de planten nagenoeg geen water meer aan de grond onttrekken, ze verwelken. De pF is dan 4,2. Deze toestand noemt men het *verwelkingspunt*.

Wanneer de grondwaterspiegel zich op grote diepte bevindt en er dus geen capillaire nalevering optreedt, kunnen de planten aan de grond onttrekken:

- het water wat zich tussen veldcapaciteit en verwelkingspunt bevindt, bijvoorbeeld als veldcapaciteit bij $pF = 2,0$ optreedt:
- het water wat zich tussen $pF = 2,0$ en $pF = 4,2$ bevindt. Dit noemt men wel het *beschikbaar hangwater* (figuur 3.2.1).

Het is echter niet zo, dat de planten pas bij het verwelkingspunt hinder gaan ondervinden van het vochttekort. Al veel eerder treden reducties op in de groei ($pF = 2,6$ tot $pF = 3,0$). Men spreekt in dit verband wel van *gemakkelijk* en *moeilijk opneembaar water*.

Figuur 3.2.1.
Karakteristieke kenmerken
van de pF -curve



Voorbeeld

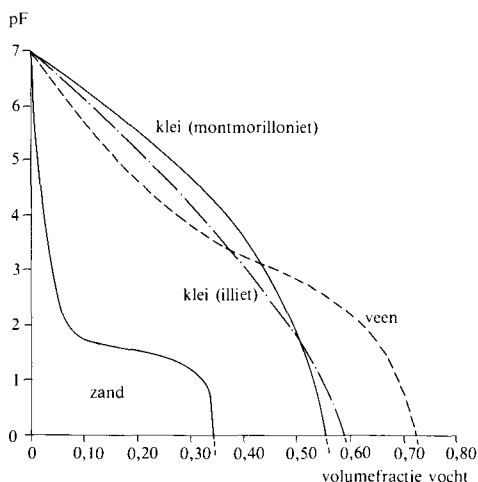
Wanneer bij een zavel (veldcapaciteit: $pF = 2,0$) bij $pF = 2,0$ ($h = -100$ cm) de volumefractie vocht 0,34 bedraagt, en bij $pF = 4,2$ is dit 0,11, dan is totaal beschikbaar $0,34 - 0,11 = 0,23$. Per laag van 10 cm dus 23 mm water.

Zoals de naam (pF -curve) al zegt wordt het verband tussen (omgerekende) drukhoogte en vochtgehalte meestal grafisch weergegeven. Figuur 3.2.1 is hiervan een voorbeeld, waarin een aantal karakteristieke punten zijn aangegeven.

Van de helling van de curve bij het verwelkingspunt kan afgeleid worden of verdroging plotseling optreedt (steile helling, zand) of veel geleidelijker (flauwe helling, klei).

Er wordt een grote verscheidenheid in de vorm van de curve aangetroffen.

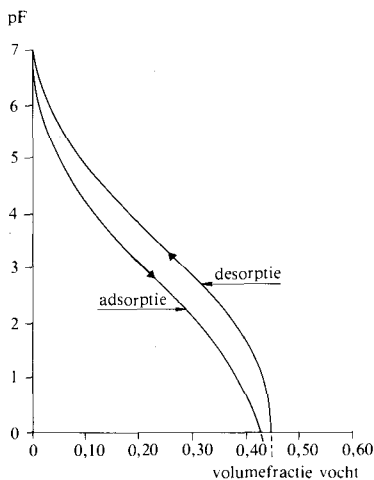
Figuur 3.2.2 toont een aantal varianten.



Figuur 3.2.2. Voorbeelden van pF -curven voor enkele grondsoorten.

Een lastig aspect van pF -curven is het feit, dat de curven niet eenduidig zijn. Het maakt verschil of de grond vanuit droge toestand bevochtigd wordt (= adsorptie), of vanuit een natte toestand opdroogt (= desorptie). Dit effect staat bekend onder de naam *hysteresis* (zie figuur 3.2.3).

Een kort overzicht van de methoden waarmee pF -curven worden bepaald is in par. III. 3.2.9 te vinden.



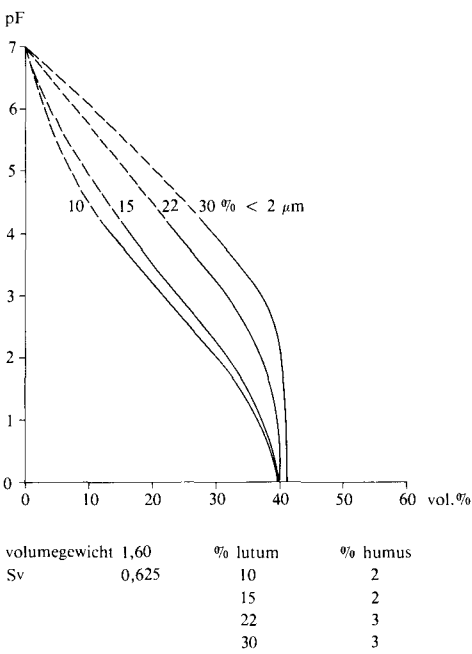
Figuur 3.2.3. Hysteresis bij verband tussen pF en vochtgehalte.

Standaard-vochtkarakteristieken

Uit de vele pF-curven die men in de loop der tijd gemeten heeft, zijn zogenaamde standaard-vochtkarakteristieken afgeleid. (*Krabbenborg e.a.*, 1983; *Poelman en Van Egmond*, 1979.) Deze bieden de mogelijkheid om snel en eenvoudig (zonder metingen) een pF-curve te kiezen of te berekenen op basis van een aantal gegevens over samenstelling en oorsprong van de grond.

In figuur 3.2.4 is een voorbeeld gegeven van enkele standaard-curven voor zeeklei-gronden.

Figuur 3.2.4.
Voorbeeld standaard pF-curven.



pF-curven bovengrond zeeklei Zuid-Holland

Tabel 3.2.1 geeft de standaard-vochtkarakteristieken voor een 20-tal bodemhorizonten. Tevens zijn hierbij de beschikbare hoeveelheden hangwater gegeven voor een drietal pF-waarden van de veldcapaciteit. De omschrijving van de bodemhorizonten is gegeven in tabel 3.2.2.

Tabel 3.2.1. Standaardvocht karakteristieken (desorptie) van 20 bodemhorizonten en de hoeveelheid beschikbaar hangwater bij drie waarden van de veldcapaciteit. De bodemhorizonten staan omschreven in tabel 3.2.2. Ontleend aan *Poelman en Van Egmond (1979)* en *Krabbenborg e.a. (1983)*.

Nr.	f_{hd}	$f_{L+S,d}$	M_Z	f_{Ld}	ρ_d	ϕ_p	Volumefractie water θ (%) bij pF=												θ_{hw}		
							1,0	1,5	1,7	2,0	2,3	2,7	3,0	3,4	4,2	1,7 min	2,0 min	2,3 min			
	(%)	(%)	(μm)	(%)	(kg/m ³)	(%)										4,2	4,2	4,2			
1	0,5	6	155	-	1630	38	34	31	24	14	9	6	4	2	2	22	12	7			
2	1,0	6	155	-	1550	41	36	32	24	14	9	7	6	5	3	21	11	6			
3	2,1	6	155	-	1440	45	39	35	27	18	16	11	7	4	3	24	15	13			
4	4,0	6	155	-	1330	48	41	38	32	22	19	14	11	7	4	28	18	15			
5	6,0	6	155	-	1270	50	44	40	36	27	23	18	13	9	6	30	21	17			
6	9,5	6	155	-	1160	53	48	45	40	35	29	25	19	14	10	30	25	19			
7	27,5	6	155	-	750	65	63	61	59	53	43	37	31	26	18	41	35	25			
8	85,0	-	-	-	175	89	87	82	80	75	68	62	47	39	21	59	54	47			
9	0,4	13,5	150	-	1700	36	35	33	29	19	13	9	7	5	3	26	16	10			
10	0,4	23,5	145	-	1700	36	34	32	29	23	16	11	9	6	4	25	19	12			
11	0,5	40	135	-	1650	38	35	33	31	29	22	17	13	11	6	25	23	16			
12	0,5	60	135	-	1650	38	36	34	33	32	28	23	18	15	9	24	23	19			
13	0,3	6	95	-	1600	39	38	38	35	30	19	8	7	6	4	31	26	15			
14	0,3	6	275	-	1650	38	31	23	15	10	7	6	5	4	2	13	8	5			
15	1,0	-	-	10	1500	44	41	39	37	35	29	24	21	18	11	26	24	18			
16	1,0	-	-	10	1400	48	44	42	41	39	33	27	23	19	11	30	28	22			
17	1,0	-	-	10	1300	51	47	45	44	41	36	31	26	21	11	33	30	25			
18	1,0	-	-	22	1400	48	45	43	42	40	36	32	30	26	19	23	21	17			
19	1,0	-	-	30	1400	48	45	43	42	41	39	36	34	32	25	17	16	14			
20	1,0	-	-	40	1400	49	46	44	44	43	42	40	38	37	31	13	12	11			

f_h = organische-stofgehalte; f_{L+S} = leemgehalte, M_Z = zandmediaan; f_L = lutumgehalte; ρ = dichtheid, ϕ_p = porositeit. De index d betekent: van stoffdroge grond. - = niet bepaald.

θ_{hw} = beschikbaar hangwater; 1,7 min 4,2 betekent: het vochtgehalte bij pF = 1,7 minus dat bij pF = 4,2.

Staringreeks

Recentelijk is door *Wösten e.a. (1987)* een nieuwe reeks bodemfysische karakteristieken voor verschillende bodemhorizonten gepubliceerd. Bij de opstelling van deze zogenaamde Staringreeks is aangesloten bij de textuur-terminologie van de StiBoka. Hierdoor is het mogelijk om bodemfysische informatie te extrapoleren naar qua textuur identieke horizonten van andere bodemeenheden. De bodemhorizonten zijn te beschouwen als bouwstenen waarmee bodemprofielen kunnen worden opgebouwd. In totaal zijn in de Staringreeks 18 bouwstenen voor de bovengrond en 18 bouwstenen voor de ondergrond opgenomen (tabel 3.2.3).

In tabel 3.2.4 is het vochtgehalte van de onderscheiden bovengronden en ondergronden gegeven bij verschillende drukhoogten. Van een aantal horizonten zijn echter nog onvoldoende metingen verricht om een gemiddelde relatie te kunnen presenteren. Zodra meer gegevens beschikbaar komen zal de reeks worden aangepast en uitgebreid. In de laatste drie kolommen van de tabel is de hoeveelheid beschikbaar hangwater vermeld bij een drietal waarden van de veldcapaciteit.

Tabel 3.2.2. Omschrijving van de bodemhorizonten uit tabel 3.2.1.

Nr.	Organische-stofklasse en textuurnaam	Horizont	Gronden (*)	Grondwater- trap
1	uiterst humusarm, matig fijn, leemarm zand	C	Hn, cHn	VI en VII
2	zeer humusarm, matig fijn, leemarm zand	B3	Hn, cHn	VI en VII
3	matig humusarm, matig fijn, leemarm zand	A12/Aan2	Hn, cHn, zEZ	VI en VII
4	matig humeus, matig fijn, leemarm zand	Ap/Aanp	Hn, cHn, zEZ	VI en VII
5	zeer humeus, matig fijn, leemarm zand	Ap/Aanp	Hn, cHn, zEZ	VI en VII
6	humusrijk, matig fijn, leemarm zand	Ap/Aanp	Hn, cHn, zEZ	VI en VII
7	zandig veen	A	veenkoloniale gronden	III t/m VI
8	veen	C/D/G	moerasbosveen	-
9	uiterst humusarm, matig tot zeer fijn, zwak lemig zand	C	Hn, cHn, pZn, pZg	II t/m V
10	uiterst humusarm, zeer fijn, sterk lemig zand	C	Hn, cHn, pZn, pZg	II t/m V
11	uiterst humusarm, zeer fijn, zeer sterk lemig zand	C	Hn, pZn, pZg	II t/m V
12	uiterst humusarme, zandige leem	C	Hn, pZn, pZg	II t/m V
13	uiterst humusarm, uiterst fijn, leemarm zand	C/D/G	diverse	II t/m VII
14	uiterst humusarm, matig grof, leemarm zand	C/D/G	diverse	II t/m VII
15	zeer humusarme, lichte zavel	C	ondergrond zeeklei ZH (*)	-
16	zeer humusarme, lichte zavel	C	ondergrond zeeklei ZH	-
17	zeer humusarme, lichte zavel	C	ondergrond zeeklei ZH	-
18	zeer humusarme, zware zavel	C	ondergrond zeeklei ZH	-
19	zeer humusarme, lichte klei	C	ondergrond zeeklei ZH	-
20	zeer humusarme, zware klei	C	ondergrond zeeklei ZH	-

(*) Hn = veldpodzolgronden; cHn = laarpodzolgronden, zEZ = zwarte enkeerdgronden,
pZn = gooreerdgronden; pZg = beekerdgronden; ZH = Zuid-Holland.

Bij het gebruik van de Staringreeks dient bedacht te worden dat de bouwstenen zijn samengesteld uit bodemhorizonten die slechts binnen vrij ruime grenzen identiek te noemen zijn. Aangezien relatief kleine verschillen in textuur en dichtheid tot grote verschillen in vochtgehalte kunnen leiden, is de spreiding ten opzichte van het gemiddelde bij de bouwstenen aanzienlijk.

De Staringreeks draagt dientengevolge een globaal karakter. Overigens geldt dit ook voor de eerdergenoemde standaard-vochtkenmerken.

Tabel 3.2.3. Indeling naar textuur (in % van de minerale delen), organische-stofgehalte (in % van de grond) en mediaan van de zandfractie (M50) van bouwstenen uit de Staringreeks volgens de textuur-terminologie van het systeem van bodemclassificatie voor Nederland (Wösten *e.a.*, 1987).

Bouwsteen	Leem (%)	Lutum (%)	Organische stof (%)	M50 µm
BOVENGRONDEN				
<i>Zand</i>				
B1 leemarm, zeer fijn tot matig fijn zand	0 - 10		0 - 15	105 - 210
B2 zwak lemig, zeer fijn tot matig fijn zand	10 - 18		0 - 15	105 - 210
B3 sterk lemig, zeer fijn tot matig fijn zand	18 - 33		0 - 15	105 - 210
B4 zeer sterk lemig, zeer fijn tot matig fijn zand	33 - 50		0 - 15	105 - 210
B5* grof zand			0 - 15	210 - 2000
B6* keileem	0 - 50		0 - 15	50 - 2000
<i>Zavel</i>				
B7 zeer lichte zavel		8 - 12	0 - 15	
B8 matig lichte zavel		12 - 18	0 - 15	
B9* zware zavel		18 - 25	0 - 15	
<i>Klei</i>				
B10 lichte klei		25 - 35	0 - 15	
B11 matig zware klei		35 - 50	0 - 15	
B12 zeer zware klei		50 - 100	0 - 15	
<i>Leem</i>				
B13* zandige leem	50 - 85		0 - 15	
B14* siltige leem	85 - 100		0 - 15	
<i>Moerig</i>				
B15* weinig zand		0 - 8	15 - 25	
B16 zandig veen en veen		0 - 8	23 - 100	
B17* venige klei		8 - 100	16 - 45	
B18 kleilig veen		8 - 100	25 - 70	
ONDERGRONDEN				
<i>Zand</i>				
O1 leemarm, zeer fijn tot matig fijn zand	0 - 10		0 - 3	105 - 210
O2 zwak lemig, zeer fijn tot matig fijn zand	10 - 18		0 - 3	105 - 210
O3 sterk lemig, zeer fijn tot matig fijn zand	18 - 33		0 - 3	105 - 210
O4 zeer sterk lemig, zeer fijn tot matig fijn zand	33 - 50		0 - 3	105 - 210
O5 grof zand			0 - 3	210 - 2000
O6 keileem	0 - 50		0 - 3	50 - 2000
O7* beekleem	33 - 50			
<i>Zavel</i>				
O8 zeer licht zavel	8 - 12		0 - 3	
O9 matig lichte zavel	12 - 18		0 - 3	
O10 zware zavel	18 - 25		0 - 3	
<i>Klei</i>				
O11 lichte klei	25 - 35		0 - 3	
O12 matig zware klei	35 - 50		0 - 3	
O13 zeer zware klei	50 - 100		0 - 3	
<i>Leem</i>				
O14* zandige leem	50 - 85		0 - 3	
O15 siltige leem	85 - 100		0 - 3	
<i>Veen</i>				
O16 oligotroof veen			35 - 100	
O17 mesotroof en eutroof veen			35 - 100	
O18* moerige tussenlaag			15 - 35	

* Aan deze bouwsteen zijn tot op heden onvoldoende metingen verricht om een gemiddelde relatie te kunnen presenteren.

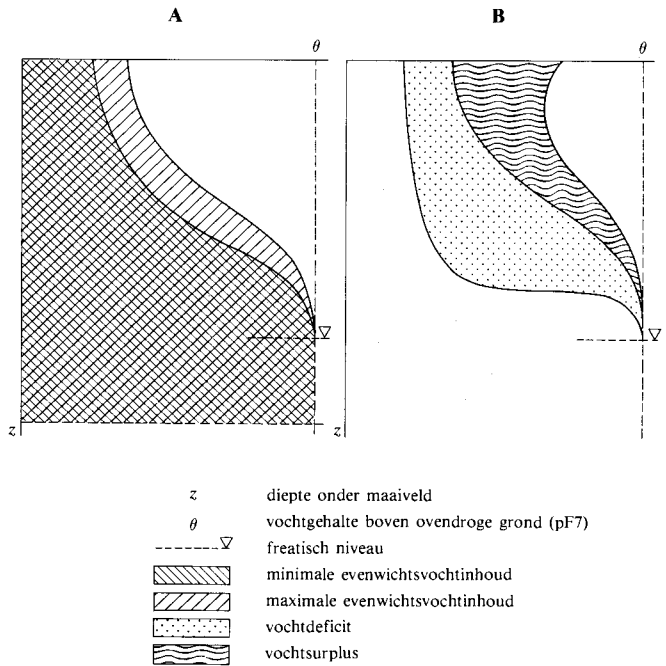
Tabel 3.2.4. Volumefractie water θ (%) in relatie tot de drukhoogte h (cm resp. pF) en de hoeveelheid beschikbaar hangwater (θ_{hw}) bij 3 waarden van de veldcapaciteit voor bovengronden en ondergronden van de Staringreeks (Wösten *e.a.*, 1987).

θ (%) bij 13 waarden voor $|h|$, resp. pF														θ_{hw} bij pF		
														1,7	2,0	2,3
$|h|$ (cm)	1	10	20	31	50	100	250	500	1000	2500	5000	10000	16000	-	-	-
pF	0,0	1,0	1,3	1,5	1,7	2,0	2,4	2,7	3,0	3,4	3,7	4,0	4,2	4,2	4,2	4,2
BOVENGRONDEN																
B1	37,1	36,4	35,7	34,7	28,0	20,1	13,0	9,8	7,4	5,4	4,3	3,4	3,0	25,0	17,1	11,5
B2	43,2	40,1	39,2	38,1	35,1	27,6	20,3	15,5	11,8	8,7	6,7	5,3	4,5	30,6	23,1	17,5
B3	44,9	42,8	41,6	40,6	39,1	34,2	24,9	19,3	15,2	11,5	9,3	7,6	6,7	32,4	27,5	20,3
B4	41,7	39,8	38,2	37,0	34,7	28,8	18,7	12,8	9,6	7,0	5,7	4,7	4,1	30,6	24,7	17,0
B7	40,7	38,0	37,3	36,6	35,6	32,4	25,4	21,7	19,0	16,0	14,0	12,1	11,0	24,6	21,4	15,9
B8	40,1	37,7	36,9	36,2	35,2	32,8	27,4	23,3	19,6	15,9	13,2	11,1	9,9	25,3	22,9	18,8
B10	44,8	40,8	40,1	39,6	38,9	37,7	35,1	31,9	26,3	21,6	18,7	15,8	14,3	24,6	23,4	21,6
B11	51,7	47,2	46,3	45,9	45,2	43,6	39,4	34,4	29,7	24,8	21,7	18,8	17,0	28,2	26,6	23,7
B12	57,8	53,1	52,4	51,7	50,9	49,5	46,4	43,5	40,5	36,2	33,1	30,1	28,1	22,8	21,4	19,2
B16	73,3	67,7	65,8	64,4	62,7	58,9	50,5	40,9	30,3	22,1	17,6	14,5	12,9	49,8	46,0	40,1
B18	71,7	69,8	68,5	67,1	65,2	60,9	53,9	48,6	44,0	38,6	34,6	30,6	27,9	37,3	33,0	27,7
ONDERGRONDEN																
O1	35,4	31,6	30,3	28,6	24,2	12,1	5,6	3,7	2,7	2,0	1,6	1,3	1,1	23,1	11,0	5,7
O2	38,1	35,4	34,0	32,7	30,4	19,7	9,9	7,3	5,7	4,6	3,9	3,3	2,9	27,5	16,8	9,0
O3	34,7	32,1	30,8	29,5	27,2	19,4	11,1	7,5	5,5	4,1	3,2	2,6	2,3	24,9	17,1	10,7
O4	35,8	34,0	32,9	31,4	29,2	23,2	14,2	9,2	6,2	4,4	3,4	2,8	2,5	26,7	20,7	13,8
O5	33,2	30,3	25,4	19,1	11,4	7,6	4,6	3,5	2,7	2,0	1,6	1,2	1,0	10,4	6,6	4,2
O6	41,2	38,7	37,5	36,4	35,5	33,7	30,3	27,6	25,3	22,2	19,8	17,5	16,4	19,1	17,3	14,8
O8	42,3	38,9	38,3	37,8	37,1	32,6	21,1	17,5	14,9	12,4	10,7	9,3	8,4	28,7	24,2	14,6
O9	41,4	38,2	37,2	36,4	35,3	31,8	22,8	18,7	15,4	12,4	10,6	9,1	8,1	27,2	23,7	16,5
O10	43,9	42,5	41,7	40,9	40,0	38,1	32,0	26,7	20,9	16,6	14,1	11,8	10,4	29,6	27,7	23,3
O11	41,9	40,0	39,3	38,7	38,1	36,5	33,1	29,6	26,2	22,1	19,2	16,6	15,0	23,1	21,5	19,1
O12	49,2	47,8	47,3	47,0	46,4	45,2	41,1	36,7	31,3	26,2	23,1	20,2	18,4	28,0	26,8	24,0
O13	58,0	54,9	54,4	54,0	53,5	52,2	49,9	47,2	43,4	39,0	35,9	32,7	30,2	23,3	22,0	20,4
O15	43,7	40,9	40,3	39,6	38,8	36,9	31,6	25,7	20,7	17,1	12,7	10,2	8,5	30,3	28,4	24,7
O16	87,8	81,9	80,3	78,9	75,5	70,9	56,9	45,0	37,8	29,6	24,4	21,1	18,5	57,0	52,4	42,4
O17	89,3	84,6	83,3	82,2	80,6	76,3	65,0	54,2	43,6	34,4	28,6	23,7	20,9	59,7	55,4	47,2

Bergingscoëfficiënt

Vanwege de hysteresis zal een evenwichtsvochtprofiel, dat bereikt wordt door bevochtigen niet gelijk zijn aan een evenwichtsvochtprofiel dat ontstaat bij uitdrogen. Men spreekt wel over de *maximale* en de *minimale evenwichtsvochtinhoud*: het totale volume water dat in een evenwichtsprofiel aanwezig is respectievelijk na bevochtigen vanuit een droge uitgangstoestand en na uitdrogen vanuit een natte uitgangstoestand. Zie figuur 3.2.5A.

Figuur 3.2.5.
Enige agrohydrologische begrippen.



Wanneer een profiel meer water bevat dan in de evenwichtstoestand, wordt over een vochtsurplus gesproken, in het omgekeerde geval van een vochtdeficit. Zie figuur (3.2.5B).

De bergingscoëfficiënt μ geeft aan hoe in een (deel van een) profiel de verhouding ligt tussen de verandering in de vochtinhoud en de daarbij horende verandering in de grondwaterstand.

Bijvoorbeeld: grondwaterstand begin = 100 cm -mv, vochtinhoud = 220 mm
 grondwaterstand einde = 50 cm -mv, vochtinhoud = 170 mm

$$\mu = \frac{\text{verandering van de vochtinhoud}}{\text{verandering in de grondwaterstand}} = \frac{220 - 170}{1.000 - 500} = 0,1$$

De bergingscoëfficiënt is niet altijd constant, maar afhankelijk van de hoogte van de grondwaterstand. In het profiel van het voorbeeld zou de grondwaterstand van 50 cm –mv tot in het maaiveld kunnen stijgen door slechts 10 mm neerslag, μ is dan $10/500 = 0,02$.

De bergingscoëfficiënt is uit de pF-curve af te leiden.

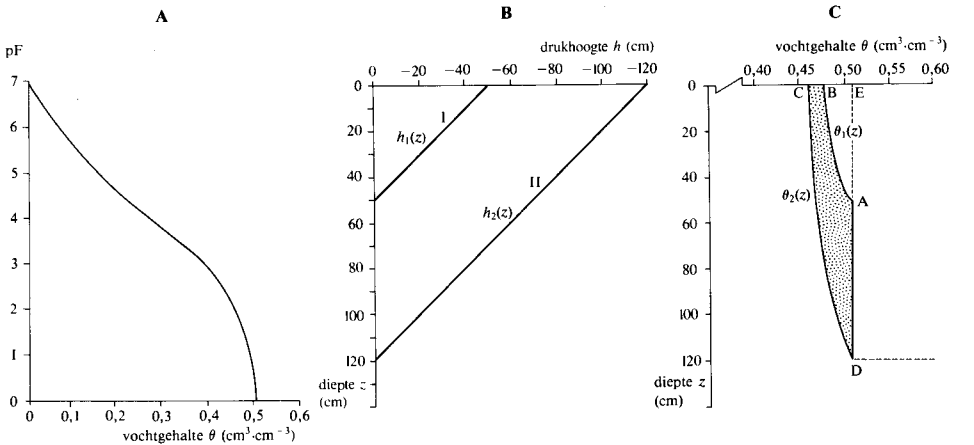
Voorbeeld

Stel een uniforme, homogene zavel met een pF-curve als in figuur 3.2.6A, voorjaarsgrondwaterstand is 50 cm –mv en er is sprake van een evenwichtsprofiel. Het bijbehorende drukhoogteprofiel is in figuur 3.2.6B weergegeven als lijn I. Dit drukhoogteprofiel kan met behulp van de pF-curve omgezet worden in een vochtgehalteprofiel, bijvoorbeeld op 1 cm boven het grondwater : $h = -1\text{cm}$, $pF = 0$, $\theta = 0,507$. Aan maaiveld: $h = -50\text{ cm}$, $pF = 1,70$, $\theta = 0,476$ etc. Het aldus verkregen vochtgehalteprofiel is getekend in figuur 3.2.6C als de (kromme) lijn AB. Vervolgens daalt de grondwaterstand tot 120 cm –mv. Er stelt zich weer een evenwichtsprofiel in. Dan kan weer een drukhoogteprofiel vastgesteld worden (figuur 3.2.6B, lijn II), en dit kan omgezet worden in een vochtgehalteprofiel (figuur 3.2.6C, lijn CD). De verandering in de vochtinhoud van het profiel is gelijk aan de oppervlakte tussen de lijnen AB en CD in figuur 3.2.6C (gestippeld). De verandering in de grondwaterstand is AD, dus:

$$\mu = \frac{\text{opp. ABCD}}{AD} \tag{3.2.8}$$

Als vuistregel wordt ook wel gebruikt:

$$\mu = \frac{BE + CE}{2} \tag{3.2.9}$$



Figuur 3.2.6. Bepaling bergingscoëfficiënt μ uit de pF-curve.

- A: pF-curve van zware zavel.
- B: Evenwichtsdrukhoogteprofielen bij grondwaterstanden van 50 (I) en 120 cm –mv (II).
- C: Evenwichtsvochtgehalteprofielen bij dezelfde grondwaterstanden.

In tabel 3.2.5 staan waarden voor de bergingscoëfficiënt μ van zandgronden.

Tabel 3.2.5. Waarden voor het bergingsvermogen in mm's (a) en de bergingscoëfficiënt (μ) van enkele zandgronden.

Bodemtype met textuur	Grondwaterstandsstijging (cm)													
	20-0		40-0		60-0		80-0		100-0		120-0		150-0	
	a	μ	a	μ	a	μ	a	μ	a	μ	a	μ	a	μ
Broekeerd	6	0,03	18	0,04	34	0,05	51	0,06	73	0,07	105	0,09	-	-
Beekeerd	5	0,02	15	0,04	31	0,05	51	0,06	74	0,07	96	0,08	-	-
Podzol:														
- leemarm														
matig fijn	15	0,07	40	0,10	77	0,13	118	0,14	150	0,15	183	0,15	259	0,17
- lemig,														
matig tot														
zeer fijn	7	0,03	18	0,04	38	0,06	68	0,08	101	0,10	134	0,11	184	0,13
Enkeerd	10	0,05	30	0,07	60	0,10	97	0,12	141	0,14	190	0,16	250	0,17

3.2.5. Onverzadigde doorlatendheid

Algemeen

De stroming van water in de grond speelt zich af in de poriën. Wanneer de grond verzadigd is, zijn alle poriën geheel gevuld met water en is de doorlatendheid (k) constant (zie ook Hfdst. III. 3.1.). Echter in een oververzadigde toestand zal een deel van de poriën met lucht gevuld zijn, en daardoor niet beschikbaar zijn voor de stroming. De doorlatendheid neemt hierdoor af bij vermindering van het vochtgehalte. Met andere woorden: k is een functie van θ en omdat het vochtgehalte op zijn beurt weer afhankelijk is van de drukhoogte h (volgens de pF-curve) is k dus ook een functie van h :

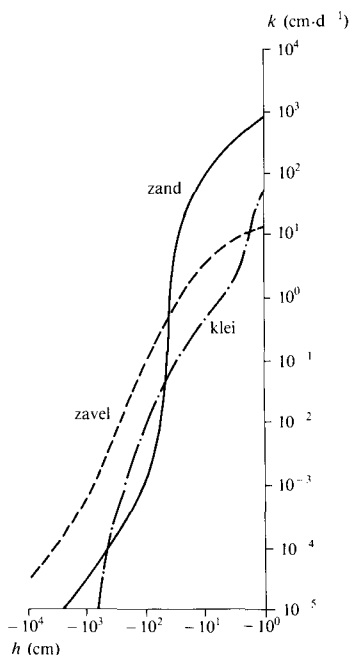
$$k = f(\theta) \text{ en } k = f(h)$$

In de onverzadigde zone is de doorlatendheid k dus niet constant, maar varieert afhankelijk van het vochtgehalte van de grond. De variatie in doorlatendheid kan in natuurlijke omstandigheden wel een factor 10^6 bedragen.

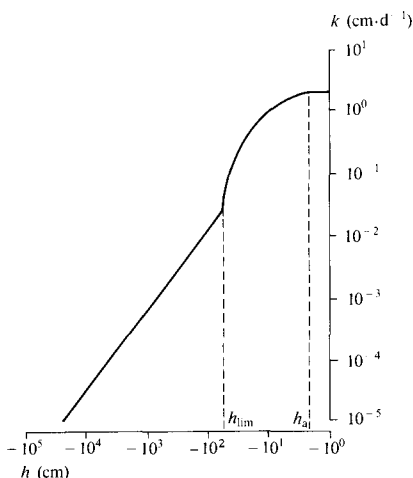
Dit verschijnsel wordt met een groot aantal verschillende namen beschreven:

- . (onverzadigde) doorlatendheid;
- . (onverzadigde) doorlaatfactor;
- . doorlaatkarakteristiek;
- . capillair geleidingsvermogen;
- . $k(h)$ -relatie;
- . $k(\theta)$ -relatie;
- . $k(\psi)$ -relatie (hierbij is $\psi = |h|$)

Figuur 3.2.7 geeft een voorbeeld van drie gemeten $k(h)$ -relaties.



Figuur 3.2.7.
Voorbeelden van gemeten $k(h)$ relaties.



Figuur 3.2.8.
 $k(h)$ -beschrijving volgens Rijtema (1969).

Onverzadigde stroming heeft voornamelijk in verticale richting plaats, dit in tegenstelling tot verzadigde stroming die vooral horizontaal gericht is. Wanneer de onverzadigde stroming opwaarts gericht is wordt van capillaire opstijging gesproken, is de onverzadigde stroming neerwaarts gericht dan spreekt men van percolatie. Bij het berekenen van zowel capillaire opstijging als percolatie speelt de onverzadigde doorlatendheid een grote rol (zie paragrafen III. 3.2.7 en III. 3.2.8).

Standaard-ondergronden (Rijtema)

Rijtema (1965) heeft de $k(h)$ -relatie benaderd volgens eendrietal empirische verbanden (zie figuur 3.2.8):

$$\text{I} : k = k_{\text{sat}} \quad \text{voor } h > h_a \quad (3.2.10a)$$

$$\text{II} : k = k_{\text{sat}} \cdot e^{-\alpha(h-h_a)} \quad \text{voor } h_a > h > h_{\text{lim}} \quad (3.2.10b)$$

$$\text{III} : k = a \cdot h^{-1.4} \quad \text{voor } h_{\text{lim}} > h \quad (3.2.10c)$$

Hierbij is:

- k_{sat} = verzadigde doorlatendheid;
- h = drukhoogte;
- h_a = drukhoogte waarbij lucht in de porien dringt;
- h_{lim} = minimum drukhoogte waarbij II geldt;
- a, α = constanten;
- e = grondtal van de natuurlijke logaritme (= 2,7183).

Voor een 20-tal zogenaamde standaardgronden geeft Rijtema (1969) de benodigde waarden, zie tabel 3.2.6. Deze gegevens zijn gebaseerd op metingen aan veelal geroerde monsters. De Rijtema- reeks is door De Laat (*Bouma en Van Heesen*, 1979) met enkele $k(h)$ -relaties uitgebreid, waardoor een betere typering van de fijnzandige, zwak tot sterk lemige dekzandondergronden werd verkregen. Voor het kiezen van de juiste standaardgrond en het juist interpreteren van de berekeningsresultaten is veel ervaring nodig.

Tabel 3.2.6. Waarden van de parameters ter bepaling van de onverzadigde doorlatendheid van de Rijtema-ondergronden en de ondergronden L2 en L3, alsmede de kritieke z -afstand (z_k) van deze ondergronden. (*Rijtema*, 1969; *Bouma en Van Heesen*, 1979.)

Grondsoort	k_{sat} (cm · d ⁻¹)	α (-)	h_a (cm)	h_{lim} (cm)	a (cm ^{2.4} · d ⁻¹)	z_k (cm)
1. Grof zand	1.120,0	0,2240	-10	-80	0,08	49
2. Matig grof zand	300,0	0,1380	0	-90	0,63	54
3. Matig fijn zand	110,0	0,0822	0	-125	3,30	81
4. Fijn zand	50,0	0,0500	0	-175	10,90	122
5. Humeus lemig matig grof zand	1,0	0,0269	0	-165	15,00	82
6. Zwak lemig matig grof zand	2,3	0,0562	0	-100	5,26	52
7. Lemig matig grof zand	0,36	0,0378	0	-135	2,10	30
8. Lemig fijn zand	26,5	0,0398	0	-200	16,40	140
9. Zandige leem	16,5	0,0737	0	-150	0,24	60
10. Löss	14,5	0,0490	0	-130	22,60	114
11. Fijnzandige leem	12,0	0,0248	-10	-300	26,50	197
12. Siltige leem	6,5	0,0200	0	-300	47,40	213
13. Leem	5,0	0,0231	0	-300	14,30	153
14. Lichte zavel	23,5	0,0353	0	-200	33,60	168
15. Zware zavel	1,5	0,0237	0	-300	36,00	122
16. Kleiige leem	0,98	0,0248	0	-300	1,69	73
17. Lichte klei	3,5	0,0174	0	-300	55,60	211
18. Matig zware klei	1,3	0,0480	0	-50	28,20	85
19. Komklei	0,22	0,0380	0	-80	4,86	26
20. Veen	5,3	0,1045	0	-50	6,82	44
L2 Medium (zwak lemig, matig fijn zand)	70,0	0,0850	0	-120	2,50	71
L3 Good (sterk lemig, fijn zand)	1,0	0,0290	0	-165	10,90	82

Berekening volgens Bloemen

Een andere manier om de $k(h)$ -relatie te bepalen zonder dat men dure en tijdrovende metingen moet doen is de berekening volgens Bloemen:

Door *Brooks en Corey* (1964) is de volgende beschrijving van de $k(h)$ -relatie opgesteld:

$$k(h) = k_{\text{sat}} \cdot \left(\frac{h_a}{h} \right)^n \quad (\text{cm} \cdot \text{d}^{-1}) \text{ voor } h < h_a \quad (3.2.11a)$$

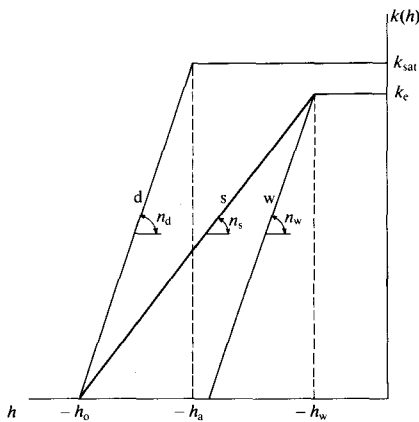
$$k(h) = k_{\text{sat}} \quad (\text{cm} \cdot \text{d}^{-1}) \text{ voor } h \geq h_a \quad (3.2.11b)$$

hierbij is:

k_{sat}	: verzadigde doorlatendheid ($\text{cm} \cdot \text{d}^{-1}$)
h	: drukhoogte bij luchtintreepunt (cm)
n	: maat voor de poriengrootteverdeling (-)

Bloemen (1980a, 1980b) ontwikkelde methoden om de parameters k_{sat} , h_a en n uit formule 3.3.11 te berekenen uit eenvoudig te bepalen bodemgegevens als korrelgrootteverdeling en humusgehalte.

Vanwege het optreden van hysteresis bestaan er in feite twee verschillende $k(h)$ -relaties voor elke bodemlaag, een die geldt voor een opdrogende bodem, en een die geldt bij bevochtigen, zie figuur 3.2.9. De lijn d geldt bij opdrogen en w bij bevochtigen.



Figuur 3.2.9. $k(h)$ -beschrijving volgens Bloemen (1980a).

De in de praktijk van toepassing zijnde $k(h)$ -relatie zal dicht benaderd worden door een gemiddelde lijn, zoals de curve s in figuur 3.2.9. Deze curve wordt beschreven door de parameters k_e , h_a en n_s (Bloemen, 1980a), waarbij:

$$k_e = 0,5 \cdot k_{\text{sat}} \quad (3.2.12)$$

$$h_w = \frac{h_a}{r} \quad (3.2.13)$$

$$n_s = \frac{\log_{10} \left[2 \cdot \left(\frac{h_a}{h_o} \right)^n \right]}{\log \frac{h_w}{h_o}} \quad (3.2.14)$$

Hierin is r een parameter, waarvan de waarde afhankelijk is van de grondsoort. De parameter h_0 is de drukhoogte, waarbij de doorlatendheid verwaarloosbaar klein wordt. De $k(h)$ -relatie ziet er nu dus als volgt uit:

$$k(h) = k_e = 0,5 k_{\text{sat}} \quad (\text{cm} \cdot \text{d}^{-1}) \text{ voor } h > h_a \quad (3.2.15)$$

$$k(h) = k_e \cdot \left(\frac{h_w}{h} \right)^{n_s} = 0,5 \cdot k_{\text{sat}} \cdot \left(\frac{h_a}{r \cdot h} \right)^{n_s} \quad (\text{cm} \cdot \text{d}^{-1}) \text{ voor } h < h_a \quad (3.2.16)$$

Wesseling *e.a.* (1984) ontwikkelden een computerprogramma, waarmee de berekeningen snel en eenvoudig kunnen gebeuren.

Voor gronden met hoge lutum- of leemgehaltenes en voor humeuze gronden is de door Bloemen ontwikkelde methode minder geschikt; de resultaten geven een overschatting van de doorlatendheden.

Staringreeks

Vanwege de beperkingen ten aanzien van de $k(h)$ -relaties verkregen uit de hiervoor vermelde benaderingen, wordt bij berekeningen in toenemende mate gebruik gemaakt van gemeten $k(h)$ -relaties aan ongestoorde monsters. De hiertoe gebruikte methoden zijn beschreven door Bouma en Dekker (1983), Wösten *e.a.* (1983) en Verlinden en Bouma (1983). In par. III. 3.2.9. worden een aantal meetmethoden besproken. Met behulp van deze methoden kan op relatief snelle wijze de verzadigde en onverzadigde doorlatendheid van elke willekeurige bodemhorizont worden gemeten. Deze metingen resulteren in een archief van gemeten $k(h)$ -relaties voor een aantal bodemhorizonten.

Op basis van de tot nog toe gemeten $k(h)$ -relaties is door Wösten *e.a.* (1987) de zogenaamde Staringreeks opgesteld (zie ook par. III. 3.2.4.). Voor verschillende bodemhorizonten is de doorlatendheid gegeven in relatie tot de drukhoogte h (tabel 3.2.7.). De bodemhorizonten zijn beschreven in tabel 3.2.3. Bij de indeling van de bodemhorizonten is aangesloten bij de textuur terminologie van de StiBoka. De in de Staringreeks opgenomen bodemhorizonten zijn hierdoor te gebruiken als bouwstenen waarmee bodemprofielen kunnen worden opgebouwd.

Bij het gebruik van de $k(h)$ -relaties uit de Staringreeks dient bedacht te worden dat de gegeven waarden verkregen zijn uit meetresultaten van meerdere monsters per horizont. Doordat relatief geringe verschillen in textuur en dichtheid aanleiding kunnen geven tot grote verschillen in doorlatendheid is de spreiding in k -waarden binnen een bepaalde bodemhorizont groot. De Staringreeks draagt diengevolge een globaal karakter.

Daarnaast worden de uitkomsten van vochtleverantieberekeningen beïnvloed door de schematisatie van het bodemprofiel. Voor elke bodemhorizont wordt op basis van de textuur een bouwsteen $k(h)$ -relatie gekozen welke representatief geacht wordt voor de totale dikte van de betreffende bodemhorizont of ondergrond. In feite wordt hiermee deze horizont of ondergrond homogeen verondersteld.

Tabel 3.2.7. Onverzadigde doorlatendheid k ($\text{cm} \cdot \text{d}^{-1}$) in relatie tot de drukhoogte h (cm resp. pF) en de kritieke z -afstand (z_k) voor bovengronden en ondergronden van de "Staringreeks" (Wösten e.a., 1987).

k (cm · d ⁻¹) bij 13 waarden voor $|h|$, resp. pF														z_k
$|h|$ (cm) pF	1 0,0	10 1,0	20 1,3	31 1,5	50 1,7	100 2,0	250 2,4	500 2,7	11000 3,0	2500 3,4	5000 3,7	10000 4,0	16000 4,2	(cm)
BOVENGRONDEN														
B1	33,34	12,47	5,62	3,34	0,99	8,7E-2	6,5E-3	9,5E-4	1,4E-4	8,8E-6	1,4E-6	2,2E-7	7,7E-8	96
B2	32,21	4,56	2,42	1,38	0,77	1,4E-1	8,4E-3	1,9E-3	6,3E-4	1,7E-4	6,2E-5	2,7E-5	1,2E-5	109
B3	17,81	3,88	1,97	1,14	0,67	2,3E-1	2,7E-2	2,8E-3	6,5E-4	1,6E-4	5,8E-5	2,4E-5	1,2E-5	136
B4	54,80	20,52	9,94	6,49	3,49	5,3E-1	4,3E-2	4,0E-3	6,3E-4	1,8E-4	8,6E-5	4,2E-5	2,7E-5	177
B7	25,06	5,00	2,70	1,50	0,70	2,0E-1	2,5E-2	5,0E-3	1,0E-3	8,0E-5	6,0E-6	1,0E-6	1,6E-7	135
B8	22,91	1,32	0,60	0,37	0,21	7,8E-2	1,8E-2	5,9E-3	1,7E-3	4,6E-4	1,8E-4	7,4E-5	4,1E-5	112
B10	31,09	0,30	0,13	0,07	0,04	1,6E-2	5,4E-3	2,7E-3	1,4E-3	5,7E-4	2,6E-4	8,4E-5	4,7E-5	59
B11	63,59	0,25	0,08	0,04	0,02	5,3E-3	1,9E-3	9,6E-4	4,5E-4	1,8E-4	9,3E-5	4,9E-5	3,1E-5	31
B12	98,18	0,55	0,09	0,04	0,01	2,9E-3	8,1E-4	4,3E-4	2,5E-4	1,2E-4	6,6E-5	3,9E-5	2,7E-5	27
B16	13,44	1,79	0,82	0,43	0,23	6,5E-2	8,4E-3	1,8E-3	4,1E-4	1,0E-4	4,0E-5	1,7E-5	1,0E-5	82
B18	34,82	3,18	0,88	0,32	0,09	1,2E-9	9,2E-4	3,6E-4	1,4E-4	4,5E-5	1,9E-5	7,6E-6	3,3E-6	47
ONDERGRONDEN														
O1	99,67	24,03	10,10	5,10	1,26	7,5E-2	8,7E-4	1,1E-4	2,4E-5	4,7E-6	1,0E-6	2,6E-7	6,3E-8	85
O2	63,88	15,13	8,40	5,52	2,68	2,9E-1	2,6E-3	3,0E-4	3,8E-5	5,6E-6	1,4E-6	3,1E-7	8,2E-8	111
O3	44,58	6,82	3,64	2,06	1,01	2,3E-1	3,0E-2	1,7E-3	3,2E-4	5,0E-5	1,1E-5	3,0E-6	7,9E-7	135
O4	53,08	11,51	7,04	4,74	2,51	6,7E-1	3,5E-2	5,8E-3	1,4E-3	2,0E-4	5,5E-5	1,2E-5	3,2E-6	180
O5	223,20	43,59	6,65	1,12	0,10	3,0E-3	1,6E-4	3,3E-5	7,2E-6	1,0E-6	2,0E-7	5,2E-8	1,3E-8	47
O6	5,48	0,44	0,13	0,08	0,05	2,2E-2	6,9E-3	3,0E-3	1,5E-3	4,3E-4	1,9E-4	8,4E-5	5,4E-5	62
O8	26,37	4,01	2,12	1,31	0,75	1,8E-1	5,1E-3	1,4E-3	5,8E-4	1,8E-4	7,8E-5	2,7E-5	1,6E-5	108
O9	24,01	2,05	1,00	0,54	0,29	7,7E-2	2,0E-2	2,2E-3	8,1E-4	2,4E-4	9,8E-5	4,2E-5	2,3E-5	103
O10	25,60	1,47	0,61	0,23	0,14	7,0E-2	1,6E-2	5,5E-3	1,8E-3	4,4E-4	1,5E-4	5,3E-5	2,1E-5	102
O11	61,00	0,73	0,28	0,16	0,08	3,5E-2	8,1E-3	2,8E-3	1,0E-3	2,3E-4	7,4E-5	1,7E-5	4,8E-6	66
O12	10,80	0,15	0,07	0,04	0,03	1,1E-2	3,2E-3	1,3E-3	5,3E-4	1,7E-4	7,4E-5	3,3E-5	1,8E-5	34
O13	38,01	0,37	0,07	0,03	0,01	3,0E-3	9,4E-4	4,2E-4	2,1E-4	9,6E-5	5,0E-5	2,5E-5	1,5E-5	24
O15	57,42	1,90	1,44	0,74	0,48	2,2E-1	6,4E-2	1,4E-2	4,6E-3	9,1E-4	2,7E-4	8,3E-5	4,2E-5	203
O16	14,66	0,92	0,30	0,15	0,07	2,1E-2	3,1E-3	9,2E-4	3,0E-4	8,5E-5	3,5E-5	1,3E-5	7,0E-6	48
O17	30,45	2,36	0,87	0,41	0,17	4,0E-2	7,6E-3	2,3E-3	7,3E-4	1,9E-4	6,2E-5	2,3E-5	1,2E-5	77

In de praktijk is de ondergrond echter zelden homogeen. Met name in zandgronden treedt veelal een micro-gelaagdheid op waardoor binnen een bepaalde horizont laagjes met een afwijkende granulaire samenstelling en dichtheid voorkomen. Deze afwijkende laagjes (leembandjes, ijzerfibers, grofzandige en/of grinderige laagjes, gliede laagjes etc.) variëren sterk, zowel naar plaats als in dikte en diepte en zijn dientengevolge niet of nauwelijks in kaart te brengen. Niettemin kan deze microgelaagdheid een relatief grote invloed hebben op de onverzadigde doorlatendheid. Het negeren van deze invloed leidt vooral bij profielen welke zijn opgebouwd uit horizonten met een grote onverzadigde doorlatendheid tot een overschatting van de capillaire vochtleverantie. Mede hierdoor zijn de verschillen in capillaire vochtleverantie bij diverse bodemtypen in de praktijk vaak geringer dan uit de berekeningen blijkt.

Kritieke z-afstand (z_k)

Een veel gebruikt criterium om de capillaire eigenschappen van bodemprofielen te karakteriseren is de zogenaamde kritieke z-afstand (z_k); ook wel kritieke stijgafstand genoemd. Hieronder wordt verstaan de maximale afstand waarover nog een voor het gewas voldoende capillaire aanvoer naar de wortelzone kan worden gerealiseerd. Overschrijding van de kritieke z-afstand leidt tot (blijvende) verdrogingsverschijnselen van het gewas.

Bij vochtleverantieberekeningen wordt de kritieke z-afstand meestal gelijk gesteld aan de afstand waarover bij een drukhoogte van -16.000 cm een capillaire flux (q_c) van 2 mm per dag kan worden gerealiseerd. Uit diverse berekeningen blijkt dat indien de afstand tussen het niveau van de Gemiddeld Laagste Grondwaterstand (G.L.G.) en de onderzijde van de effectieve wortelzone geringer is dan de kritieke z-afstand, het langjarig gemiddelde vochttekort van grasland beperkt blijft tot max. ca. 2%.

In de laatste kolom van de tabellen 3.2.6 en 3.2.7 is de waarde van z_k voor de onderscheiden ondergronden/bodemhorizonten vermeld.

3.2.6. Waterbalans

Wanneer de onverzadigde zone beschouwd wordt, kan de volgende waterbalans over een bepaalde periode opgesteld worden volgens het principe:

$$\Delta V = \text{IN} - \text{UIT}$$

$$\Delta V = I - E_s - E_t + Q \quad (\text{mm}) \quad (3.2.17a)$$

met: $I = P - E_i - R \quad (\text{mm}) \quad (3.2.17b)$

ofwel: $\Delta V = P - E - R + Q \quad (\text{zie figuur 3.2.10}) \quad (3.2.17c)$

waarbij: ΔV = bergingsverandering, toename van de totale vochtinhoud van het profiel.

I = infiltratie.

P = (bruto) neerslag.

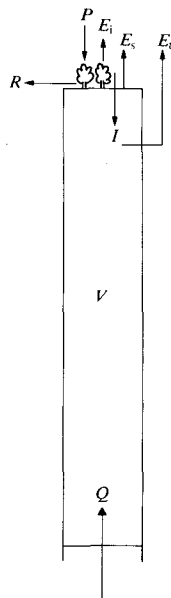
E_s = evaporatie van de kale grond.

E_i = evaporatie van interceptie-water.

E_t = transpiratie, plantenverdamping door de huidmondjes.

Q = stroming door de onderrand van het profiel (positief in opwaartse richting).

R = oppervlakte-afvoer (run-off).



Figuur 3.2.10.
Schematische voorstelling van de componenten van de waterbalans.

De som ($E_i + E_t + E_s$) wordt ook wel bij elkaar genomen als de evapotranspiratie, met symbool E . De stroming Q bevat de resultante van percolatie en capillaire opstijging.

Wanneer alle termen op één na bekend zijn, kan de ontbrekende term uit de balans berekend worden. Maar ook als alle termen bepaald zijn, kan men door het opstellen en controleren van de waterbalans een indruk krijgen van de nauwkeurigheid waarmee de termen bepaald zijn.

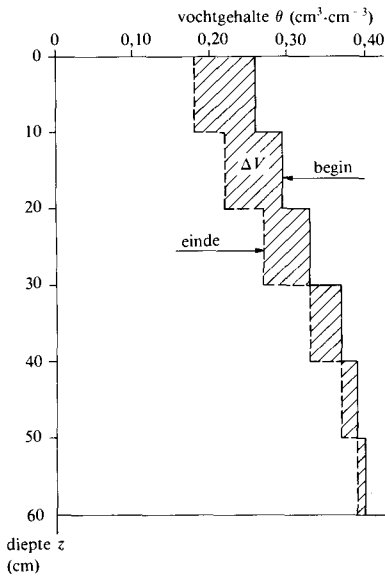
Een probleem kan zich voordoen, wanneer zowel E als Q moeilijk of niet te meten zijn.

Voorbeeld 1. Zeer diepe grondwaterstand (zie figuur 3.2.II)

In dit voorbeeld wordt alleen het bewortelbare deel van een profiel beschouwd. Dit betreft de bovenste 60 cm van een enkeerdgrond. Aan het begin en het einde van de balansperiode (4 weken later) zijn vochtgehaltebepalingen gedaan op 5, 15, 25, ..., en 55 cm -mv. De gemeten waarden worden als representatief voor telkens 10 cm van het profiel beschouwd. De resultaten van de vochtmetingen zijn vermeld in onderstaand overzicht.

diepte	Vochtgehalte θ (vol.fractie)		
	begin balansperiode	einde balansperiode	verandering
5 cm	0,26	0,18	-0,08
15 cm	0,29	0,22	-0,07
25 cm	0,33	0,27	-0,06
35 cm	0,37	0,33	-0,04
45 cm	0,39	0,37	-0,02
55 cm	0,40	0,39	-0,01
totaal			-0,28

Figuur 3.2.11.
Vochtgehalteprofielen van de situaties aan het begin en het einde van de balansperiode uit voorbeeld 1.



De totale (bruto) neerslag gedurende de balansperiode bedroeg 22 cm. Verder is bekend, dat er geen capillaire opstijging heeft plaatsgevonden (grondwater zeer diep), dat er ook geen percolatie en run-off is geweest. Met andere woorden: $Q = 0$ en $\Delta V = P - E$
 Als onbekende term dient de evapotranspiratie E uitgerekend te worden.

Per 10 cm bodem komt 1 vol. % vocht overeen met 1 mm water. De totale bergingsverandering (ΔV) is dus -28 mm.
 Invullen van de gegevens in de balans geeft:

$$-28 = 22 - E \quad \text{en dus: } E = 50 \text{ mm}$$

Gedurende de balansperiode heeft de totale evapotranspiratie 50 mm bedragen.

Voorbeeld 2. Ondiepe grondwaterstand

In het begin van de balansperiode bevindt de grondwaterstand zich op 40 cm –mv, aan het einde van de periode op 50 cm –m.v. Er wordt een balans opgesteld voor het profiel tot 50 cm –mv. De gemeten vochtgehalten bedragen:

diepte	Vochtgehalte θ (vol.fractie)		
	begin balansperiode	einde balansperiode	verandering
5 cm	0,24	0,19	-0,05
15 cm	0,31	0,28	-0,03
25 cm	0,36	0,33	-0,03
35 cm	0,40	0,38	-0,02
45 cm	0,42	0,41	-0,01
totaal			-0,14

De totale (bruto) neerslag gedurende de balansperiode bedroeg 28 mm.

De totale evapotranspiratie is nu ook bekend, deze was 60 mm. Als onbekende term kan de flux door de onder-rand (Q) berekend worden.

De analoge wijze als in voorbeeld 1 wordt de ΔV bepaald op -14 mm.

De ingevulde balans wordt dan (run-off = 0):

$$-14 = 28 - 60 + Q \quad \text{en dus: } Q = 18 \text{ mm}$$

Gedurende de balansperiode is er dus totaal 18 mm door de onderrand van het profiel naar boven gestroomd (capillaire opstijging).

3.2.7. Stationaire stroming

Stroming wordt veroorzaakt door een verschil in potentiaal (zie par. III. 3.2.3.), en kan beschreven worden met de Wet van Darcy:

$$q = -k \cdot \frac{\delta H}{\delta z} \quad (\text{cm} \cdot \text{d}^{-1}) \quad (3.2.18)$$

Hierin is het quotient $\delta H/\delta z$ de potentiaalgradiënt, de drijvende kracht voor de stroming. De filtersnelheid q is in elk punt van de bodem dus evenredig met de ter plaatse geldende gradiënt $\delta H/\delta z$. De factor k is bekend als de doorlatendheid.

Hierbij is z positief naar boven (bijvoorbeeld vanaf grondwaterstand als referentie). Het minteken voor de k dient ervoor, de q positief te laten zijn in de richting van de stroming. In de richting van de stroming neemt de stijghoogte (potentiaal) uiteraard af, de potentiaalgradiënt is er dus negatief.

Voor onverzadigde stroming kan de stijghoogte uitgedrukt worden in drukhoogte en plaatshoogte volgens vergelijking 3.2.7:

$$H = h + z$$

Substitutie in de Wet van Darcy geeft:

$$q = -k \cdot \left(\frac{\delta h}{\delta z} + 1 \right) \quad (\text{cm} \cdot \text{d}^{-1}) \quad (3.2.19)$$

Hierin is de onverzadigde doorlatendheid k afhankelijk van h (zie par. III. 3.2.4.), hetgeen de berekeningen compliceert.

Een tweede wet is nodig om de stroming volledig te beschrijven, de wet van behoud van energie ofwel het continuïteitsprincipe (zie ook figuur 3.2.12):

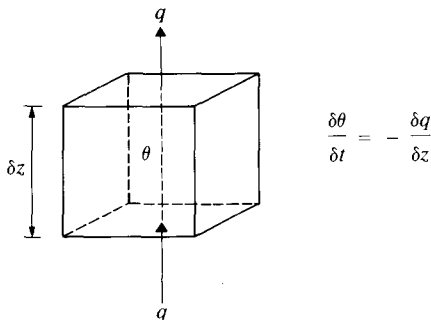
$$\frac{\delta \theta}{\delta t} = -\frac{\delta q}{\delta z} \quad (\text{d}^{-1}) \quad (3.2.20)$$

Wanneer beide formules gecombineerd worden, kan de algemene vergelijking voor stroming van water in onverzadigde grond afgeleid worden:

$$\frac{\delta \theta}{\delta t} = \frac{\delta \left[k \cdot \left(\frac{\delta h}{\delta z} + 1 \right) \right]}{\delta z} \quad (\text{d}^{-1}) \quad (3.2.21)$$

Deze vergelijking is complex, vanwege de afhankelijkheid tussen k en h en/of tussen k en θ .

*Figuur 3.2.12.
Schematische voorstelling van
het continuïteitsprincipe.*



Een belangrijke vereenvoudiging van deze formule wordt verkregen, door de stroming stationair te veronderstellen, dat wil zeggen een toestand, waarbij de vochtgehalten en de drukhoogtes niet veranderen in de tijd: $\delta\theta/\delta t = 0$. De algemene stromingsvergelijking (3.2.21) wordt dan:

$$\delta k \cdot \left(\frac{\delta h}{\delta z} + 1 \right) = 0 \quad (d^{-1}) \quad (3.2.22)$$

Na enig rekenwerk is deze om te werken tot:

$$z_2 = z_1 + \frac{h_2 - h_1}{-1 - \frac{q}{k(\bar{h})}} \quad (cm) \quad (3.2.23)$$

Met: $\bar{h} = (h_1 + h_2) / 2$

Dit is een formule, waarmee voor een willekeurige flux q de drukhoogteprofielen berekend kunnen worden mits de $k(h)$ -relatie(s) bekend is (zijn). De nauwkeurigheid van de berekeningen is onder meer afhankelijk van de gekozen stapgrootte van h .

Voorbeeld

Gegeven een uniform zavelprofiel met een $k(h)$ -relatie als in figuur 3.2.7 (par. III. 3.2.5.), en een grondwaterstand van 140 cm -mv. Er is sprake van stationaire percolatie. Er moeten drie varianten doorgerekend worden:

- percolatie van $1,0 \text{ cm} \cdot \text{d}^{-1}$ ($q = -1,0 \text{ cm} \cdot \text{d}^{-1}$)
- percolatie van $0,5 \text{ cm} \cdot \text{d}^{-1}$ ($q = -0,5 \text{ cm} \cdot \text{d}^{-1}$)
- percolatie van $0,1 \text{ cm} \cdot \text{d}^{-1}$ ($q = -0,1 \text{ cm} \cdot \text{d}^{-1}$)

gevraagd: het verloop van de drukhoogte in het profiel (drukhoogteprofiel) bij elk van de drie fluxen.

De berekening begint bij de grondwaterspiegel, daar geldt: $z = 0$ en $h = 0$.

Er wordt gewerkt in (drukhoogte-)stapjes van -10 cm omhoog. Bij de eerste stap is h_1 0 cm en h_2 is -10 cm , gemiddeld: $h = -5 \text{ cm}$. Uit de $k(h)$ -relatie (figuur 3.2.7) volgt bij $h = -5 \text{ cm}$ een doorlatendheid van $6,5 \text{ cm} \cdot \text{d}^{-1}$.

Invullen van de eerste stap in de formule:

$$z_2 = 0 + \frac{-10 - 0}{-1 - \frac{-1,0}{6,5}} = 11,8 \text{ cm}$$

Dus op 11,8 cm boven de grondwaterspiegel heerst bij een stationaire omlaag gerichte flux van $1,0 \text{ cm} \cdot \text{d}^{-1}$ een drukhoogte van -10 cm .

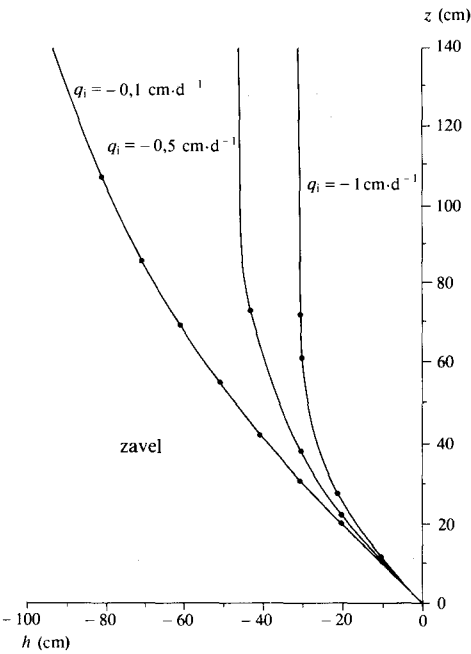
Voor de stap van -10 tot -20 cm volgt op analoge wijze:

$$z_2 = 11,8 + \frac{-20 - -10}{-1 - \frac{-1,0}{2,5}} = 28,5 \text{ cm}$$

Op deze manier kunnen de overige waarden ook uitgerekend worden, de resultaten staan in tabel 3.2.8. De drukhoogteprofielen zijn in figuur 3.2.13 uitgetekend.

Tabel 3.2.8. Berekening drukhoogteprofielen voor uniform zavelprofiel.

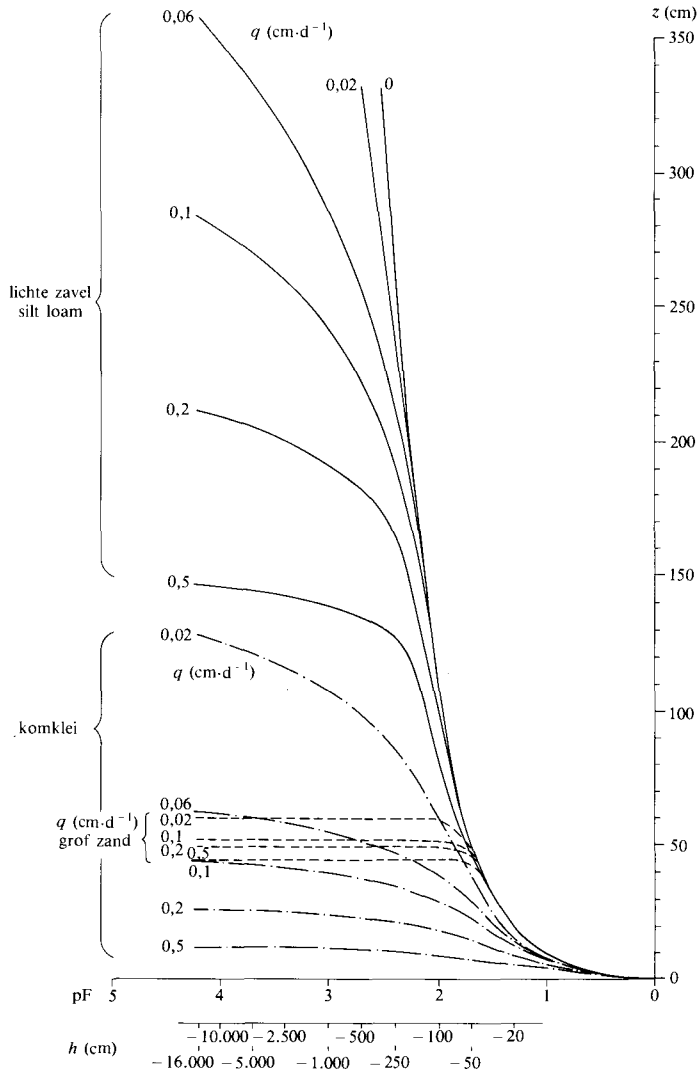
$\bar{h}$ (cm)	$\bar{h}$ (cm)	$k(\bar{h})$ (cm · d ⁻¹)	z (cm) bij:		
			$q = -1,0$	$q = -0,5$	$q = -0,1$
0					
-10	-5	6,5	11,8	10,8	10,2
-20	-15	2,5	28,5	23,3	20,6
-30	-25	1,3	71,8	39,6	31,4
-40	-35	0,7		74,6	43,1
-50	-45	0,5			55,6
-60	-55	0,35			69,6
-70	-65	0,26			85,8
-80	-75	0,19			106,9



Figuur 3.2.13. Drukhoogteprofielen in uniforme zavel bij 3 stationaire percolatiedichtheden.

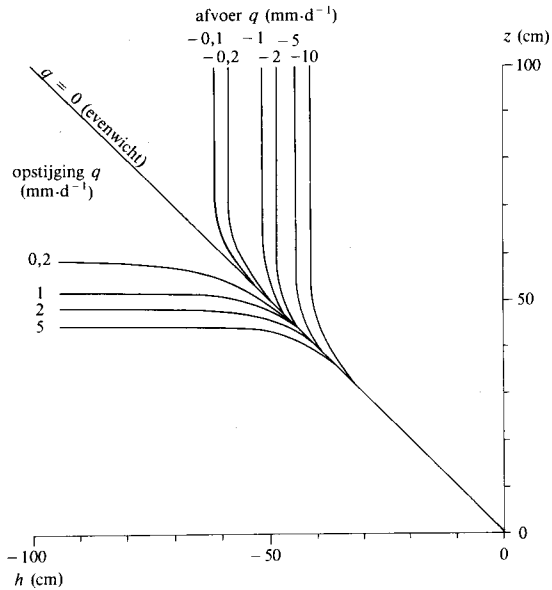
Voor stationaire capillaire opstijging verloopt de berekening identiek, met positieve q -waarden. Als resultaat kunnen profielen als in figuur 3.2.14 verkregen worden. Hierin zijn voor een 3-tal uniforme Rijtema-standaardgronden drukhoogteprofielen getekend bij een aantal capillaire fluxen. Uit de figuur blijkt bijvoorbeeld, dat voor het grove zand een capillaire flux van $0,2 \text{ cm} \cdot \text{d}^{-1}$ nooit hoger reikt dan 50 cm boven de grondwaterspiegel, en dat voor de uniforme lichte zavel eenzelfde flux van $0,2 \text{ cm} \cdot \text{d}^{-1}$ meer dan 2 meter boven de grondwaterstand kan komen, echter bij een drukhoogte $< -2.500 \text{ cm}$ (pF 3,4).

Figuur 3.2.14.
Drukhoogteprofielen
voor verschillende
grondsoorten (naar
Rijtema, 1970).



In figuur 3.2.15 zijn voor een uniform grof zand drukhoogteprofielen getekend zoals die gelden bij evenwicht ($q = 0$), capillaire opstijging ($q > 0$) en percolatie ($q < 0$).

Figuur 3.2.15.
Drukhoogteprofielen in grof zand
tijdens afvoer ($q < 0$), bij evenwicht
($q = 0$) en bij capillaire opstijging
($q > 0$).



Voor niet-uniforme, gelaagde profielen, waarvan de lagen verschillende hydrologische eigenschappen hebben, wordt de formule opgesplitst:

$$\int_{z_1}^{z_n} \delta z = \int_{h_1}^{h_2} \frac{\delta h}{-1 - \frac{q}{k_1(h)}} + \int_{h_2}^{h_3} \frac{\delta h}{-1 - \frac{q}{k_2(h)}} + \dots \text{ (cm)} \quad (3.2.24)$$

Via een iteratieve procedure kunnen de waarden van h_1, h_2 etc. bepaald worden. Vanaf de grondwaterspiegel wordt h steeds verlaagd, totdat z de grens met de volgende laag bereikt. De drukhoogte h is continu over de grens, waardoor de eindwaarde van de onderliggende laag als startwaarde voor de laag erboven gebruikt kan worden.

Deze berekeningen zijn een stuk complexer dan berekeningen voor uniforme profielen. Hiervoor zijn echter verschillende computerprogramma's beschikbaar (zie par. III. 3.3.3). Wanneer ook pF-gegevens voorhanden zijn, kunnen drukhoogteprofielen omgezet worden in vochtgehalteprofielen, en kan de vochtinhoud van het profiel bepaald worden. Stationaire onverzadigde stromingsgevallen, zowel neerwaarts (percolatie) als opwaarts (capillaire opstijging) kunnen dus betrekkelijk eenvoudig berekend worden wanneer de $k(h)$ -relaties van alle bodemlagen bekend zijn.

3.2.8. Niet-stationaire stroming

Bij niet-stationaire stroming wordt (in tegenstelling tot stationaire stroming) ervan uitgegaan, dat de vochtgehaltes en de drukhoogtes wel veranderen in de tijd. De factor tijd wordt dus als variabele in de beschouwingen meegenomen, waardoor de berekeningen aanzienlijk ingewikkelder worden.

De algemene vergelijking voor stroming van water in onverzadigde grond, (vergelijking 3.2.21) blijft geldig, echter zonder de vereenvoudigingen uit par. III. 3.2.7. Een analytische oplossing is dan bijna altijd onmogelijk.

Problemen rond de niet-stationaire waterbeweging in de (onverzadigde) grond zijn alleen goed op te lossen met behulp van modellen. Hiermee kan de werkelijkheid vrij nauwkeurig nagebootst (gesimuleerd) worden. Ook gecompliceerde randvoorwaarden zoals een met de tijd veranderende flux aan maaiveld (neerslag) kunnen in deze modellen gebruikt worden.

Te onderscheiden zijn:

- analoge modellen (elektrisch/elektronisch of hydraulisch);
- numerieke modellen.

De modellen verdelen de verticale schaal z in een aantal discrete stappen. De tijd kan in de analoge modellen continu gevolgd worden; bij de numerieke modellen moet ook de tijd in discrete intervallen verdeeld worden. De tijdsintervallen zijn erg klein (orde van grootte: minuten).

Voor de numerieke modellen zijn met de snelle ontwikkelingen op computergebied sterk in de belangstelling komen te staan. Door met erg kleine tijdstappen te werken wordt de niet-stationaire werkelijkheid hiermee goed benaderd. Vaak is de grootte van de tijdstap afhankelijk van de mate waarin veranderingen in vochtgehalte of drukhoogte optreden. Bij sterke veranderingen worden kleinere tijdstappen gebruikt.

Een niet-stationaire benadering van de stroming van water in de grond heeft als voordeel, dat de werkelijkheid vrij dicht benaderd kan worden. Als nadeel geldt, dat de benodigde hoeveelheid rekenwerk (-tijd en -kosten) erg groot kan zijn. De stationaire benadering daarentegen is vrij eenvoudig qua rekenwerk, maar deze geeft een minder nauwkeurig beeld van de werkelijkheid.

Als een soort tussenoplossing kan de pseudo-stationaire benadering genoemd worden. Hierbij wordt de werkelijkheid gemodelleerd als een serie elkaar opvolgende stationaire toestanden. De tijdstappen liggen bij modellen van dit soort veelal in de orde van 10 dagen. Het rekenwerk is hierbij redelijk beperkt en de nabootsing van de werkelijkheid is wat beter dan bij de puur stationaire benadering.

Voorbeelden van de verschillende soorten modellen worden in hfdst. III. 3.3 besproken.

3.2.9. Meetmethoden (*Verlinden en Bouma, 1983*)

Bodemvocht (bodemwater)

Voor de bepaling van het bodemvochtgehalte zijn een aantal methoden beschikbaar:

- a. gravimetrische bepaling;
- b. bepaling met neutronenverstrooiing;
- c. bepaling met gammastraling;
- d. thermische bepaling;
- e. capaciteve bepaling.

Methode a. is een zogenaamde destructieve methode, waarbij de hoeveelheid grond waarvan de bepaling gedaan wordt, niet in zijn natuurlijke ligging aanwezig blijft. De overige methoden (b. t/m e.) zijn niet-destructief, en kunnen aan gronden in natuurlijke ligging toegepast worden.

Ad a. Gravimetrisch

Hierbij wordt een monster veldvochtig gewogen, vervolgens gedroogd bij 105°C en weer gewogen. Het verschil in gewicht is een maat voor de vochtinhoud van het oorspronkelijke monster. De gravimetrische vochtbepaling is de meest gebruikte methode.

Het vochtgehalte kan op twee manieren weergegeven worden (zie par. III. 3.2.2.), namelijk op volumebasis en op massabasis. In aansluiting hierop zijn er ook twee gravimetrische bepalingsmethoden:

- op massabasis:

er wordt een geroerd monster genomen, naar het laboratorium gebracht, gewogen, gedroogd en weer gewogen. De gewichtsfractie vocht is dan te berekenen zoals in par. III. 3.2.2. aangegeven is;

- op volumebasis:

hierbij worden ongeroerde monsters genomen, met een bekende inhoud. Meestal gebruikt men hiervoor zogenaamde Kopecky-ringen van 100 cm³ ($\varnothing = 50$ mm, $h = 51$ mm). De gevulde ringen dienen met zorg naar het laboratorium getransporteerd te worden. Hier wordt weer gewogen, gedroogd en gewogen, waarna de volume-fractie vocht te berekenen is op de manier aangegeven in par. III. 3.2.2.

Ad b. Neutronen (Van Bavel e.a., 1963)

Bij deze bepalingsmethode wordt gebruik gemaakt van de eigenschap van neutronen, dat hun snelheid sterk terugvalt bij botsingen met waterstofkernen. Waterstof komt in water zeer veel voor en in vaste bodemdelen veel minder vaak. De mate waarin snelle neutronen vertraagd worden is dus een maat voor het (volume)vochtgehalte van de grond.

In de praktijk gebruikt men meestal boorgaten met een aluminium buis. Hierin laat men een zogenaamde probe zakken tot het niveau waarop men het vochtgehalte wil meten. In de probe bevindt zich een snelle neutronenbron en een teller, die de terugkerende langzame neutronen telt. Deze teller is door een kabel verbonden met een meetinstrument.

Om de gemeten waarden te vertalen naar vochtgehaltes, moet dit meetinstrument gekalibreerd worden. Hiervoor kan bijvoorbeeld gebruik gemaakt worden van gravimetrische bepalingen.

Ad c. Gammastraling (Ryhiner en Pankow, 1969)

Deze methode is gebaseerd op de eigenschap van gammastraling, dat de mate waarin deze straling verstrooid wordt in de grond afhankelijk is van de droge dichtheid van de grond en van het vochtgehalte. Wanneer de droge dichtheid gelijk blijft, is een verandering in de mate van verstrooiing dus geheel toe te schrijven aan een verandering in het vochtgehalte.

In het veld worden twee boorgaten met buizen (vaak koper) gebruikt. Deze dienen wel zuiver verticaal en parallel te staan, op een onderlinge afstand van ongeveer 40 cm. Een buis is voor de gammabron en de andere voor de detector.

In de loop van een seizoen kan (na kalibratie) door telkens in dezelfde buizen te meten, de invloed van de droge dichtheid uitgeschakeld worden en meet men alleen veranderingen in het bodemvochtgehalte. Wanneer de detector minder gammastraling meet dan bij de vorige meting, is het vochtgehalte dus toegenomen (meer verstrooiing).

Ad d. Thermisch (Janse en Borel, 1965)

Het warmtegeleidend vermogen van grond neemt toe met het vochtgehalte. Deze eigenschap van de grond kan gebruikt worden om het vochtgehalte te meten.

Een techniek, die hierop gebaseerd is, is de zogenaamde naaldmethode. Een dunne naald wordt in de grond gestoken en verwarmd door middel van elektrische stroom. Tegelijkertijd wordt de temperatuur van de naald gemeten. Bij een natte grond met een hoog geleidingsvermogen zal de temperatuur van de naald langzamer stijgen dan bij een droge grond. Door middel van een ijk-curve kan de temperatuur/tijd curve omgezet worden in een vochtgehalte.

Het contact tussen de naald en de gronddeeltjes kan een probleem zijn.

Ad e. Capacitief (Chernyar, 1967)

Deze bepalingsmethode is gebaseerd op het feit dat de di-elektrische constante van water veel groter is dan die van de vaste bodemdelen en lucht (resp. 81, 4 tot 12 en 1). Water is zeer polair. Hiervan wordt gebruik gemaakt door middel van een soort condensator, waarvan de capaciteit toeneemt als er vochtige grond in plaats van lucht tussen de platen gebracht wordt.

Bij de uitvoering die in het veld gebruikt wordt, zijn de platen van de condensator vervangen door metalen pennen, die in de ongeroerde grond worden gestoken. Door middel van een kabel kan met een meetkast aan maaiveld de waarneming gedaan worden.

Deze methode is nog in ontwikkeling, tot op heden is men nog niet in staat een algemeen geldende ijk-curve af te leiden, en moet elke sensor apart geijkt worden. Als voordeel van deze methode geldt de mogelijkheid de meetwaarden direct te registreren.

Drukhoogte

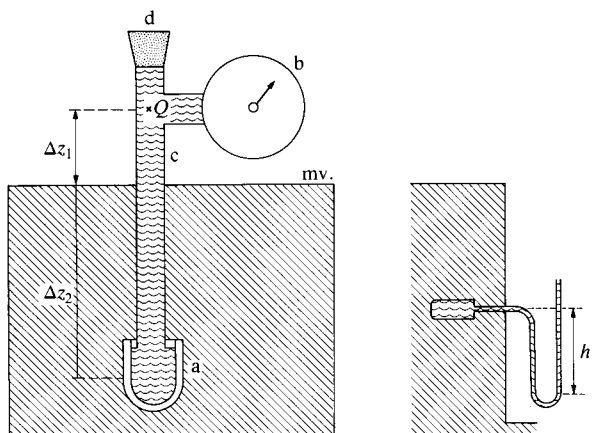
De drukhoogte h kan in het veld gemeten worden met een tensiometer (zie figuur 3.2.16). De tensiometer bestaat uit een niet-geglazuurd, poreus, keramisch potje met daarop aangesloten een dunne leiding, beide met water gevuld, en een (onder)drukmeter. Het water in de tensiometer staat via de kleine poriën in het potje in verbinding met het water in de bodem. Wanneer zich een evenwicht ingesteld heeft kan de (onder)druk van de drukmeter worden afgelezen. In plaats van manometers zoals in de figuur kan ook met elektronische meetkasten gewerkt worden.

Figuur 3.2.16.

Tensiometers:

A met vacuümmeter en

B met watermanometer.



A. met vacuümdrukmeter

B. met watermanometer

- a. poreuze kop
- b. vacuümdrukmeter
- c. buis met water
- d. afneembare dop voor ontluchting

Een moderne soort tensiometer is gebaseerd op het meten van zeer kleine waterverplaatsingen door gebruik te maken van transducers, een soort drukoverbrengers. De meting berust op het meten van de (veranderende) elektrische weerstand van een membraan. Apparaten van deze soort moeten echter altijd geijkt worden.

Hoewel de praktische bruikbaarheid van tensiometers met de moderne meetkasten groter geworden is, blijven er nogal wat bezwaren aan het gebruik van tensiometers in de praktijk verbonden (het water in de tensiometers kan bevriezen, en het meettraject is beperkt: 0 tot -850 cm). De toepassingen moeten vooral in de onderzoekssfeer gezocht worden. Andere (veld)methoden om de drukhoogte (indirect) te meten, die allemaal via het vochtgehalte en de pF-curve werken zijn:

- weerstandsblokjes;
- warmtegeleidingsvermogen;
- psychrometer.

De elektrische weerstand, het warmtegeleidingsvermogen en de relatieve luchtvochtigheid zijn afhankelijk van het vochtgehalte, en dus ook van de drukhoogte.

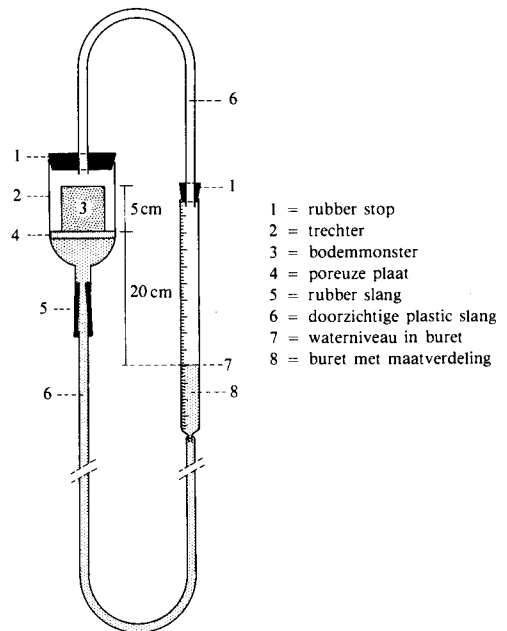
Bodemwaterkarakteristiek (pF-curve)

Om de pF-curve vast te leggen moet een bodemmonster bij een groot aantal verschillende drukhoogtes in evenwicht gebracht worden, waarna telkens het vochtgehalte bepaald wordt. Bijna altijd worden zogenaamde desorptiecurven bepaald, waarbij de grond uitdroogt van verzadigd tot zeer droog.

Voor het natte traject tot een drukhoogte van -500 cm kan een apparaat als in figuur 3.2.17 worden gebruikt. In de getoonde opstelling wordt de onderdruk (drukhoogte) op $-22,5$ cm gehouden. Het uitgestroomde water (te meten in het buret) is een maat voor de verandering in het vochtgehalte. Nadat evenwicht bereikt is, kan het monster ook gewogen worden. Voor drukhoogtes van -150 cm tot -500 cm moet met kwik gewerkt worden. Dit wordt wel de *onderdrukmethode* genoemd.

Figuur 3.2.17.

Apparaat met een trechter met poreuze plaat voor het meten van de vocht karakteristiek van $h = -2,5$ tot -150 cm.

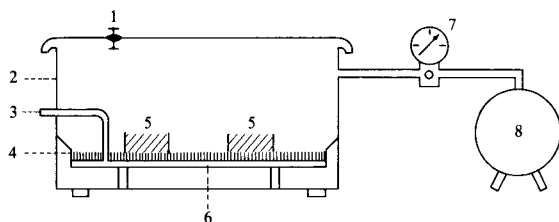


Voor het droge traject, van -1.000 cm tot -16.000 cm wordt de zogenaamde *overdruk methode* gebruikt (figuur 3.2.18). Hierbij brengt men in een drukvat een overdruk aan. Het vat is aan de onderkant afgesloten met een fijnporeuze keramische plaat of twee plastic membranen (membraanpers). Het water wordt hier dus uit de grond geperst. Wanneer zich evenwicht ingesteld heeft, kan het monster gewogen worden.

De zogenaamde *in situ*-bepaling, een veldbepaling, maakt gebruik van tensiometers. In het veld wordt de drukhoogte van een bodemlaag hiermee gemeten, en vervolgens wordt het vochtgehalte bepaald (gravimetrisch of met een neutronensonde). Op deze manier wordt een goed representatieve meting verkregen, die echter wel beïnvloed is door hysteresis.

Figuur 3.2.18.

Apparaat met drukvat voor het meten van de vocht karakteristiek in het traject $h = -1.000$ tot en met -16.000 cm.



- | | |
|---|---------------------------------|
| 1 = veiligheidsventiel | 5 = bodemonster in lage ring |
| 2 = drukvat | 6 = rubber mantel rond de plaat |
| 3 = uitstroompijp | 7 = drukregelaar |
| 4 = poreuze plaat met zeer fijne poriën | 8 = compressor |

Onverzadigde doorlatendheid ($k(h)$ -relaties), (Verlinden en Bouma, 1983)

Voor de bepaling van de onverzadigde doorlatendheid zijn de volgende meetmethoden beschikbaar:

- korstenmethode;
- heteluchtmethode;
- verdampingsmethode;
- sorptiviteitsmethode.

Behalve door deze meetmethoden kan de onverzadigde doorlatendheid ook bepaald worden door berekening aan de hand van een aantal specifieke bodemeigenschappen (zie par. III. 3.2.5).

Ad a. Korstenmethode

Deze is geschikt voor het zeer natte traject, van $h = 0$ tot $h = -40$ cm. In principe wordt de infiltratiesnelheid gemeten van een kolom (ongestoorde) grond van 30 cm doorsnede. Door bovenop het monster een korst van gips aan te brengen raakt de grond onder deze korst onverzadigd.

Met één of (liefst) twee tensiometers in het monster wordt de drukhoogte gemeten, behorende bij de uit de infiltratiesnelheid te berekenen onverzadigde doorlatendheid. Door de korst dikker te maken, kan de meting bij lagere drukhoogtes herhaald worden.

De methode is goedkoop, nauwkeurig en snel. Bovendien is het bijna de enige methode, die in het zeer natte traject betrouwbare meetresultaten geeft.

Ad b. Heteluchtmethode

Geschikt voor drukhoogtes van -50 cm tot -5.000 cm. Een ringmonster van 10 cm hoogte wordt eerst verzadigd. Daarna laat men het overtollige water uitzakken. Dan wordt er een föhn boven geplaatst die gedurende 10 tot 15 minuten hete lucht over de bovenzijde van het monster blaast, en daardoor water doet verdampen. Vervolgens wordt het monster snel in dunne plakjes van 5 mm gesneden en wordt per plakje het vochtgehalte gravimetrisch bepaald. Uit deze gegevens kan de $k(h)$ -relatie berekend worden. De bepaling is snel en goedkoop, het rekenwerk vrij complex, de computer doet dit echter ook snel. Verder levert deze methode een $k(h)$ -relatie voor een groot traject. Het effect van de sterke temperatuurstijging op de doorlatendheid is echter nog niet geheel duidelijk.

Ad c. Verdampingsmethode

Geschikt voor drukhoogtes van -40 cm tot -800 cm. Hierbij laat men een ringmonster langzaam aan de bovenkant verdampen (zonder verhitte). De drukhoogte wordt op meerdere plaatsen in het monster met tensiometers gemeten. Het gewicht van het totale monster wordt ook in de tijd gevolgd.

Uit deze gegevens kan k als functie van h berekend worden. Deze methode wordt veel gebruikt, is echter tijdrovend en vrij duur.

Ad d. Sorptiviteitsmethode

Dit is een jonge, veelbelovende methode. Hierbij wordt water onder druk toegediend aan een ongestoord ringmonster ($\varnothing 10$ cm) met behulp van een injectiespuit en een tandwielconstructie. De cumulatieve adsorptie van water wordt hierbij evenredig gehouden met de wortel uit de tijd.

Wanneer deze verhouding tussen cumulatieve adsorptie en de wortel uit de tijd (= sorptiviteit) constant blijft, wordt op het grensvlak van het monster het vochtgehalte en de drukhoogte bepaald. Hieruit is de $k(h)$ -relatie te berekenen.

Voor deze bepaling is een speciaal en duur apparaat nodig. De meting zelf is vrij snel en geeft waarden voor een zeer groot vochttraject. De mate van nauwkeurigheid is nog onvoldoende bekend, maar lijkt veelbelovend.

3.2.10. Literatuur

Bavel, C.H.M. van, P.R. Nixon and V.L. Hauser, 1963.

Soil moisture measurements with the neutron method. USDA Agricultural Service. Techn. Bull. ARS 41-70.

Bloemen, G.W., 1980a.

Calculation of hydraulic conductivities of soils from texture and organic matter content. Zeitschr. für Pflanzenern. und Bodenk. 143 (5), p. 581-605. Ook Techn. Bull. 120, Instit. voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Wageningen.

Bloemen, G.W., 1980b.

Calculation of steady state capillary rise from the groundwater table in multi layered soil profiles. Zeitschr. für Pflanzenern. und Bodenk. 143 (6), p. 701-719. Ook Techn. Bull. 121, Instit. voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Wageningen.

Bouma, J., 1977.

Soil survey and the study of water in the unsaturated soil. Soil Survey Papers 13, p. 729-735. Stichting voor Bodemkartering, Wageningen.

Bouma, J., 1985.

Stroming van water. Bodemnatuurkunde. Voorpublicatie uit: Bodemkunde van Nederland, deel 1. Algemene bodemkunde, hoofdstuk 10.

Bouma, J. en L.W. Dekker, 1983.

Nieuwe fysische meetmethoden bij waterbeweging in kleigronden. Landbouwk. Tijdschr. 95 (4), p. 26-29.

Bouma, J. en W.P. Locher, 1985.

Binding van water. Bodemnatuurkunde. Voorpublicatie uit: Bodemkunde van Nederland, deel 1. Algemene Bodemkunde, hoofdstuk 9.

Brooks, R.H. and A.T. Corey, 1964.

Hydraulic properties of porous media. Hydrology Paper no. 3. Colorado State University, Colorado.

Chernyar, G.Y., 1967.

Dielectric methods for investigating moist soils. State Geology Committee of the USSR, translated from Russian. Israel Program for scientific translations.

Commissie Grondwaterwet Waterleidingbedrijven, 1984.

Landbouwkundige aspecten van grondwateronttrekking. Berekening van schade als gevolg van kunstmatige verlaging van de grondwaterstand. Rapport van de Werkgroep Landbouwkundige Aspecten.

Ernst, L.F., 1966.

Grondwaterstromingen in de onverzadigde zone en hun berekening bij de aanwezigheid van horizontale open leidingen. Versl. van Landbouwk. Onderz., p. 67-15, Pudoc, Wageningen.

Feddes, R.A., P.J. Kowalik and H. Zaradny, 1978.

Simulation of field water use and crop yield. Simulation Monographs Series, Pudoc, Wageningen.

Feddes, R.A., 1983.

Physics of soil moisture. Syllabus International Drainage Course. Int. Instit. for Landreclamation and Improvement, Wageningen.

Janse, A.R.P. and G. Borel, 1965.

Measurements of thermal conductivity in mixed materials, e.g. soils. Neth. Journ. Agric. Sci. 13 (1), p. 57-62.

Koorevaar, P., G. Menelik and C. Dirksen, 1983.

Elements of Soil Physics. Developments in soil science 13. Elsevier, Amsterdam.

Krabbenborg, A.J., J.B.N. Poelman en E.J. van Zuilen, 1983.

Standaardvochtkarakteristieken van zand- en veenkoloniale gronden. Rp. 1680. Stichting voor Bodemkartering, Wageningen.

Molen, W.H. van der, 1980.

Stroming in de onverzadigde zone. Dictaat Landbouw Hogeschool, Wageningen.

Molen, W.H. van der, 1983.

Agrohydrologie. Dictaat Landbouw Hogeschool, Wageningen.

Poelman, J.B.N. en Th. van Egmond, 1979.

Uit eenvoudige grootheden af te leiden pF-waarden voor de rivier- en zeekleigronden. Rp. 1492. Stichting voor Bodemkartering, Wageningen.

Rijtema, P.E., 1969.

Soil moisture forecasting. Nota 513. Instit. voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Wageningen.

Rijtema, P.E., 1965.

An analyses of actual evapotranspiration. Agric. Res. Rep. no. 659. Pudoc, Wageningen.

Ryhiner, A.H. and J. Pankow, 1969.

Soil moisture measurements by the gamma transmission method. Journ. of Hydrol. 9 (2), p. 194-205. Ook Techn. Bull. 66, Instit. voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Wageningen.

Verlinden, H.L. en J. Bouma, 1983.

Fysische bodemonderzoekmethoden voor de onverzadigde zone. Bodembescherming 22. Ministerie van Volkshuisvesting Ruimtelijke Ordening en Milieu, 's-Gravenhage.

Wesseling, J.G., G.W. Bloemen en W.A.J.M. Kroonen, 1984.

Computerprogramma CAPSEV to calculate:

I. Soil hydraulic conductivity from grain size distribution;

II. Steady state water flow in layered soil profiles.

Nota 1500. Instit. voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Wageningen.

Wösten, J.H.M., G.H. Stoffelsen, J.W.M. Jeurissen, A.F. van Holst en J. Bouma, 1983.

Proefgebied Hupselse Beek. Regionaal bodemkundig en bodemfysisch onderzoek. Rp. 1706. Stichting voor Bodemkartering, Wageningen.

Wösten, J.H.M., M.H. Bannink en J. Beuving, 1987.

Waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken van boven- en ondergronden in Nederland: De Staringreeks. Rp. 1932. Stichting voor Bodemkartering. Rp. 18 (nieuwe serie). Instit. voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Wageningen.

3.3. Vochtleverantiemodellen

3.3.1. Inleiding

Voor de groei van een gewas is water onontbeerlijk. De benodigde hoeveelheid water voor optimale groei wordt bepaald door de potentiële (= maximaal mogelijke) verdamping. De grootte van de potentiële verdamping is afhankelijk van de meteorologische omstandigheden en van de aard van het gewas (zie hfdst. III.2). De potentiële verdamping bepaalt de vraag naar water van het gewas.

Een deel van het voor de verdamping benodigde water valt in de vorm van neerslag. In een gemiddeld groeiseizoen (zomer) overtreft de potentiële verdamping de neerslag; er is dan sprake van een neerslagtekort ook wel verdampingsoverschot genaamd. Naast de neerslag zijn nog andere bronnen van wateraanbod aan te wijzen:

- De vochtvoorraad aan het begin van het groeiseizoen in het bewortelde deel van het profiel. De wortels kunnen hieraan een deel onttrekken.
- Aanvulling van de vochtvoorraad in het bewortelde deel van het profiel door capillaire aanvoer vanuit:
 - a. de ondergrond, de bodemlagen onder de wortelzone en boven het grondwater;
 - b. het grondwater, vooral wanneer de grondwaterstand zich niet te diep bevindt.

Deze capillaire nalevering kan op verschillende manieren beschouwd worden (zie hfdst. III.3.2) :

- Stationair, drukhoogtes/vochtgehaltes veranderen niet in de tijd;
- Pseudo-stationair, een opeenvolging van stationaire stappen;
- Niet-stationair, drukhoogtes/vochtgehaltes veranderen in de tijd.

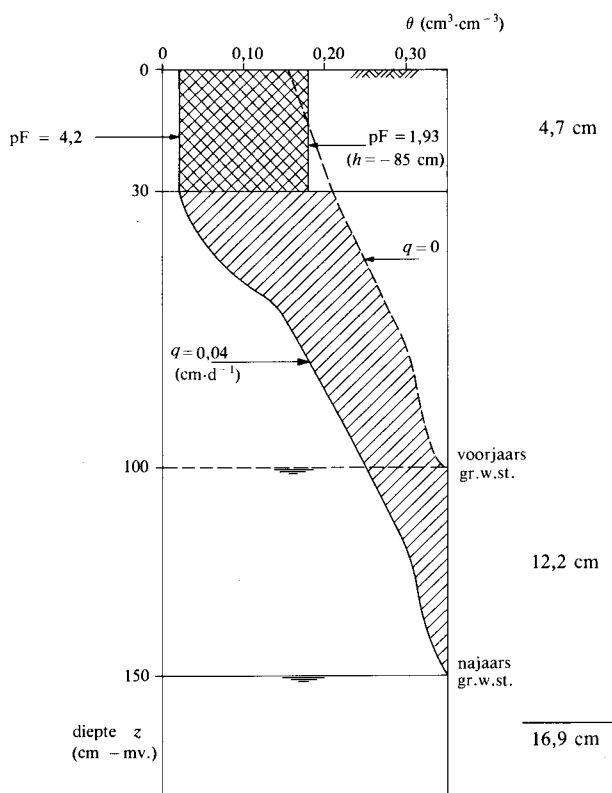
3.3.2. Ontwikkeling van de rekentechniek

De techniek voor het berekenen van de vochtleverantie aan het gewas is in de loop der tijd ontwikkeld door verschillende onderzoekers die voortbouwden op elkaars resultaten.

Wesseling (1957) liet al zien (fig. 3.3.1) hoe een schatting gemaakt kan worden van de hoeveelheid water in de bodem waarover het gewas maximaal kan beschikken, wanneer de grondwaterstanden aan begin en einde van het groeiseizoen bekend zijn.

In de figuren 3.3.1 t/m 3.3.3 wordt voor de duidelijkheid steeds uitgegaan van een homogeen, ongelaaagd profiel.

Figuur 3.3.1.
Berekening vochtleverantie
(Wesseling, 1957)



- Wortelzone.

Aan het begin van het groeiseizoen wordt een evenwichtstoestand verondersteld. Aan het einde van het groeiseizoen wordt aangenomen dat het gewas de wortelzone tot $pF = 4,2$ heeft uitgedroogd. In figuur 3.3.1 is uitgegaan van een voorjaarsgrondwaterstand van 100 cm -mv en een wortelzone van 30 cm.

In het voorjaar wordt een evenwichtsprofiel verondersteld, waarvoor geldt:

$$h = -z \text{ (drukhoogte} = \text{--plaatshoogte)} \quad \text{zie par. III. 3.2.2.}$$

Wanneer de voorjaarsgrondwaterstand (100 cm -mv) als referentieniveau gekozen wordt, zal midden in de wortelzone (15 cm -mv) de plaatshoogte 85 cm bedragen. De drukhoogte zal er dan -85 cm zijn ($pF = 1,93$). Uit de pF -curve volgt dan het vochtgehalte midden in de wortelzone. In figuur 3.3.1 is dit 0,182. Deze waarde wordt als gemiddelde voor de hele wortelzone gebruikt. Aan het einde van het groeiseizoen heerst een $pF = 4,2$ in de wortelzone, uit de pF -curve volgt dan een vochtgehalte van 0,025.

Totaal aan de wortelzone onttrokken gedurende het groeiseizoen:

$$(0,182 - 0,025) \times 30 \text{ cm} = 4,7 \text{ cm}$$

In figuur 3.3.1 is dit aangegeven als de oppervlakte met de dubbele arcering.

Nalevering.

Aan het einde van het groeiseizoen bevindt de grondwaterspiegel in figuur 3.3.1 zich op 150 cm –mv. De drukhoogte aan de onderkant wortelzone is dan –16000 cm ($pF = 4,2$). Wanneer nu een aantal stationaire capillaire fluxen doorgerekend worden op de manier die in par. III. 3.2.6 beschreven is, zal blijken dat er een bepaalde flux is, die aan de onderkant wortelzone ook een drukhoogte van –16000 cm oplevert. In het voorbeeld van de figuur is deze flux $0,04 \text{ cm} \cdot \text{d}^{-2}$. De lijn waar $q = 0,04$ bij staat geeft het vochtgehalteprofiel in de ondergrond aan het einde van het groeiseizoen. De gearceerde oppervlakte komt overeen met de hoeveelheid water die gedurende het groeiseizoen capillair is opgestegen uit de ondergrond. Deze oppervlakte kan bepaald worden door planimetreren of door bijvoorbeeld per 10 cm met gemiddelde waarden te rekenen. Totale capillaire nalevering uit de ondergrond in de figuur : 12,2 cm.

Totaal.

De totale vochtleverantie van het profiel in figuur 3.3.1 komt hiermee op:
 $4,7 \text{ cm} + 12,2 \text{ cm} = 16,9 \text{ cm}$.

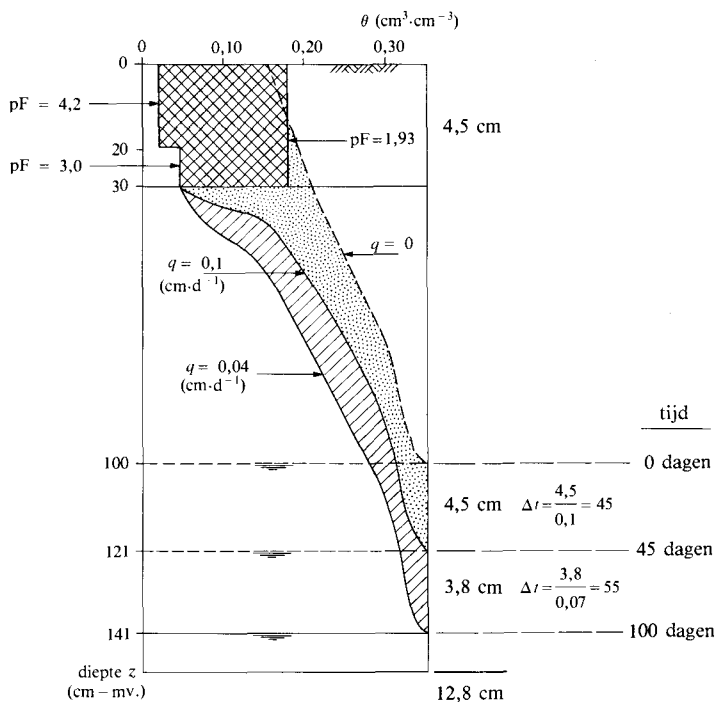
Feitsma (1969) gaat ervan uit, dat de onderste 10 cm van de wortelzone niet verder uitdroogt dan tot $pF = 3,0$ (zie fig. 3.3.2).

Verder schat Feitsma de capillaire flux gedurende de eerste periode van het groeiseizoen (bijvoorbeeld $0,1 \text{ cm} \cdot \text{d}^{-1}$), het vochtgehalteprofiel dat bij deze flux hoort wordt onder de wortelzone 'geplakt', zodanig dat de drukhoogte aan de onderkant wortelzone overeenkomt met $pF = 3,0$. De grondwaterstand blijkt dan in deze periode bijvoorbeeld 21 cm gedaald te zijn. In het voorbeeld van figuur 3.3.2 bedraagt de gestippelde oppervlakte 4,5 cm.

Wanneer er aangenomen wordt dat de flux van $0,1 \text{ cm} \cdot \text{d}^{-1}$ constant opgetreden is, heeft het dus $4,5/0,1 = 45$ dagen geduurd voordat de situatie waarbij de grondwaterstand van 100 cm –mv tot 121 cm –mv gedaald is bereikt is. Bij de tweede stap in de figuur wordt uitgegaan van een beginflux van $0,1 \text{ cm} \cdot \text{d}^{-1}$ en een eindflux van $0,04 \text{ cm} \cdot \text{d}^{-1}$. Gemiddeld over de tijdstap dus $0,07 \text{ cm} \cdot \text{d}^{-1}$.

Bij deze procedure worden de fluxen steeds kleiner (grondwaterstand daalt immers); het verloop van de vochtleverantie met de tijd is op deze manier te volgen.

Feddes (1971) berekende de vochtleverantie voor tuinbouwgewassen bij een constante grondwaterstandsdiepte. De wortelzone werd geacht niet verder uit te drogen dan $pF = 2,6$. Naast de vochtleverantie door het uitdrogen van de wortelzone en door capillaire opstijging vanuit de onverzadigde ondergrond betreft Feddes ook een capillaire flux vanuit het grondwater bij zijn berekeningen. Deze flux wordt constant verondersteld en wordt berekend met een gemiddelde $pF = 2,35$ aan de onderkant van de wortelzone.

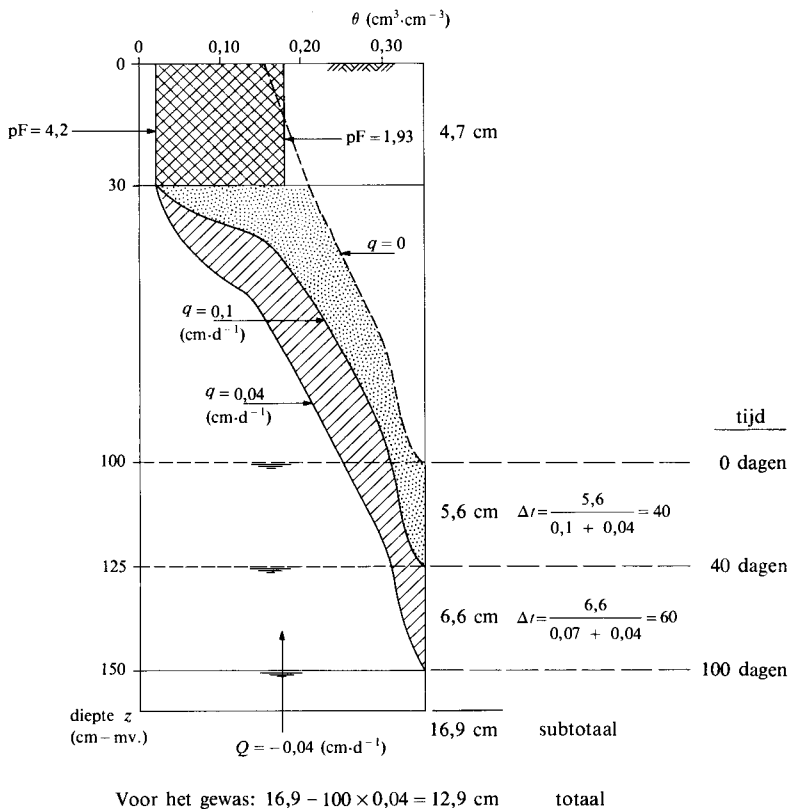


Figuur 3.3.2. Berekening vochtleverantie na 100 dagen (Feitsma, 1969)

Rijtema (1971) rekent ook met tijdsafhankelijke vochtleverantie, zoals Feitsma dat deed, echter hij laat de wortelzone weer uitdrogen tot $pF = 4,2$ en hij betreft ook een eventuele flux door de onderrand van de onverzadigde zone erbij (kwel/wegzijging), zie figuur 3.3.3.

Hierbij gebruikt Rijtema een aparte procedure om de grootte van de capillaire aanvangsflux te berekenen. Hierbij wordt ervoor gezorgd dat de vochtleverantie aan het gewas gedurende de beginperiode overeenkomt met het verdampingsoverschot en er dus potentiële verdamping mogelijk is.

De methodiek van Rijtema is voor De Laat het uitgangspunt geweest bij het ontwikkelen van een computermodel (UNSAT), dat ertoe geleid heeft dat pseudo-stationaire modelberekeningen een grote vlucht genomen hebben. Aan de bestaande rekenmethodiek zijn door De Laat een aantal belangrijke zaken toegevoegd, zoals: oplossing voor de onderandvoorwaarde, hysteresis factor en zogenaamde percolatieprofielen om ook in perioden met neerslagoverschotten te kunnen rekenen (zie par. III. 3.3.4).



Figuur 3.3.3. Berekening vochtleverantie na 100 dagen (Rijtema, 1971)

3.3.3. Stationaire modellen

Wanneer aangenomen wordt, dat:

- in het voorjaar een evenwichtstoestand optreedt; en
- het gebruik van een bepaalde uitdrogingsgrens in de wortelzone realistisch is, kan, op de manier zoals in par. III. 3.3.2 getoond is, voor iedere grondwaterstandsdiepte de hoeveelheid vocht berekend worden die beschikbaar is in de wortelzone, in de diepere lagen en door capillaire opstijging.

Hiervoor zijn van alle horizonten in het profiel gegevens nodig over:

- de bodemwaterkarakteristiek (pF-curve);
- de onverzadigde doorlatendheid ($k(h)$ -relatie).

Zuiver stationaire modellen kunnen het verband tussen capillaire stijghoogte, drukhoogte en grootte van de capillaire flux berekenen.

Voorbeelden van dergelijke toepassingen zijn bijvoorbeeld het bepalen van de maximale capillaire fluxen die nog net de wortelzone kunnen bereiken bij verschillende grondwaterstanden, of het berekenen van de zogenaamde kritieke stijgafstand (kritieke z -afstand), dit is de maximale afstand waarover een flux van $2,0 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$ naar de wortelzone kan worden gerealiseerd.

De kritieke stijgafstanden worden onder andere door Stichting voor Bodemkartering gebruikt bij het uitvoeren van schattingen van het vochtleverend vermogen van gronden. In tabel 3.3.1 is een overzicht van een aantal kritieke stijgafstanden opgenomen; figuur 3.3.4 toont ter illustratie de berekende stijghoogtecurven van een viertal ondergronden voor verschillende fluxen.

Tabel 3.3.1 Uit veldwaarnemingen afgeleide waarden van de kritieke stijgafstand in een aantal typen ondergrond (Van der Sluijs, 1985)

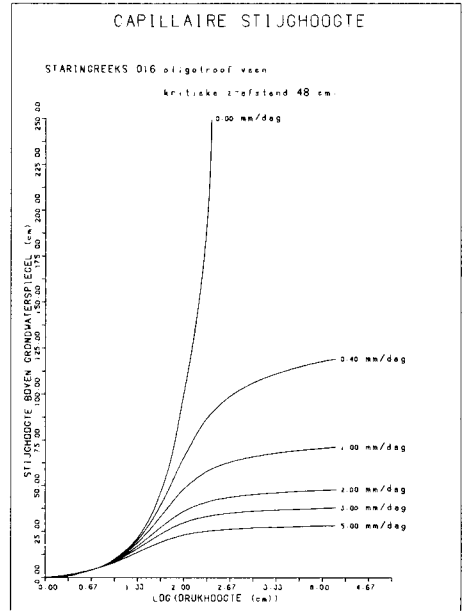
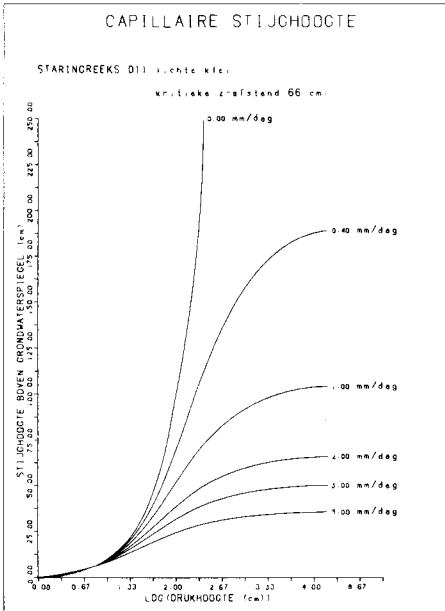
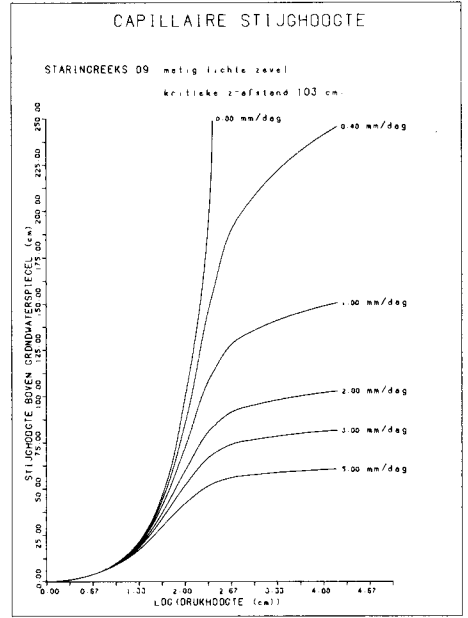
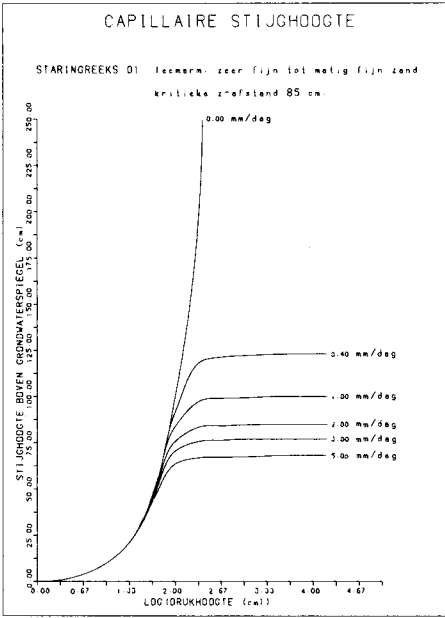
Aard van de ondergrond	kritieke stijgafstand, z_k (cm)	
	gemiddeld	spreiding
kleiarm zeezand	40	30 - 50
kleiig zeezand	70	50 - 100
kleiarm, matig grof rivierzand	40	30 - 70
leemarm dekzand	70	50 - 90
zwak lemig dekzand	110	90 - 140
sterk lemig dekzand	160	140 - 250
lichte zavel	130	100 - 180
zware zavel	90	70 - 120
lichte klei	70	60 - 100
matig zware klei	60	50 - 80
zeer zware klei	40	30 - 60
oud veenmosveen	30	10 - 40
zegeveen	40	30 - 60

Diverse computerprogramma's zijn beschikbaar voor stationaire berekeningen van capillaire opstijging/percolatie in homogene en gelaagde profielen. Wanneer de door deze programma's berekende drukhoogteprofielen gecombineerd worden met pF-curven, kunnen vochtgehalteprofielen en vochtinhouden bepaald worden (Rijniersce, 1976; Van Lanen, 1981; Wesseling *e.a.*, 1984).

Naast computer modellen zijn door Bouma (1977) en Mooy (1981) ook eenvoudige grafische methoden ontwikkeld waarmee capillaire opstijging in een gelaagd profiel te bepalen is.

Model CAPSEV

Als typisch voorbeeld van een stationair model wordt hier het op het ICW ontwikkelde programma CAPSEV (Wesseling *e.a.*, 1984) nader besproken. CAPSEV is opgezet als een volledig interactief programma. De gebruiker hoeft slecht antwoorden op door het



Figuur 3.3.4. Stijghoogtecurven voor een viertal ondergronden uit de Staringreeks (Wösten e.a., 1987) bij verschillende capillaire fluxen.

programma gestelde vragen in te toetsen, diepgaande kennis van computersystemen is niet vereist.

CAPSEV bestaat in feite uit twee hoofdonderdelen. Het eerste deel stelt de gebruiker in staat de onverzadigde doorlatendheid van bodemlagen met de methode 'Bloemen' (zie par. III. 3.2.4) te berekenen. Het tweede deel biedt de gebruiker de mogelijkheid stationaire onverzadigde stromingsgevallen door te rekenen. Hierbij dient de $k(h)$ -relatie opgegeven te worden.

Voor het tweede gedeelte van de berekeningen worden twee hoofdopties onderscheiden:

- a. Berekening van drukhoogteprofielen (diverse grondwaterstanden, diverse fluxen, zowel capillaire opstijging als percolatie mogelijk).
- b. Berekening van maximale capillaire fluxen die een gegeven niveau (bijvoorbeeld onderkant wortelzone) kunnen bereiken bij verschillende grondwaterstandsdiepten en gegeven drukhoogte. Indien gewenst kunnen ook vochtgehalteprofielen/vochtinhouden berekend worden.

In tabel 3.3.2 staat een overzicht van de belangrijkste in- en uitvoergegevens.

Tabel 3.3.2. Overzicht van de belangrijkste in- en uitvoergegevens van het model CAPSEV.

INVOER

- $k(h)$ -relatie (op een zelf te kiezen manier in te voeren);
- grondwaterstand(en);
- capillaire fluxen (optie 1);
- drukhoogte onderkant wortelzone (optie 2);
- pF-curve (alleen als vochtgehalteprofiel / vochtinhoud berekend moet worden).

UITVOER

- recapitulatie van de ingevoerde $k(h)$ -relatie;

bij optie 1:

- tabellen en printplots van drukhoogteprofielen, voor alle doorgerekende situaties;

bij optie 2:

- tabel en printplot van maximale capillaire fluxen plus eventueel een tabel met vochtinhouden.
-

Het gebruik van stationaire modellen is vrij eenvoudig en de benodigde invoergegevens zijn beperkt. Echter in werkelijkheid is de (onverzadigde) waterbeweging in de bodem geen stationair proces. Bij de interpretatie van resultaten van een stationair model dient men zich dat feit terdege te realiseren.

3.3.4. Pseudo-stationaire modellen

De pseudo-stationaire modellen benaderen het in wezen niet-stationaire stromingsproces in de grond als een opeenvolging van stationaire toestanden. De berekening van elk van deze stationaire toestanden verloopt op een manier zoals die in par. III. 3.3.2 en par. III. 3.3.3 beschreven is. Per tijdstap worden drukhoogteprofielen berekend; deze worden omgezet in vochtgehalteprofielen (met behulp van pF-curve) en vervolgens worden de vochtgehalte profielen over de diepte geïntegreerd (oppervlakte onder de curve bepaald). Op deze wijze wordt de vochtinhoud van het profiel per tijdstap bepaald. Tevens wordt voor elke stationaire situatie de toevoer door het freatisch vlak berekend. Uit de verandering van de vochtinhoud per tijdstap en de flux door de onderrand, wordt met behulp van een waterbalans de actuele verdamping berekend. De lengte van de tijdstappen is 1 of meerdere dagen. Bij voorkeur dient gerekend te worden op dagbasis.

Rijtema (1971) heeft deze benadering gebruikt om de verdamping tijdens het groeiseizoen te berekenen uit de waterbalans van de wortelzone voor een stationaire verdeling van neerslag en potentiële verdamping.

De Laat heeft een computerprogramma (UNSAT) geschreven, gebaseerd op de benadering zoals die onder andere in par. 3.3.2 beschreven is met een aantal belangrijke toevoegingen (*De Laat en Awater*, 1978 en *De Laat*, 1980). In 1982 en in 1985 zij onder de naam MUST (Model for Unsaturated flow above a Shallow water Tabel) nieuwe, verbeterde versies van dit programma verschenen (*De Laat*, 1982 en 1985).

Bij Rijkswaterstaat is in het kader van het PAWN-onderzoek (Policy Analysis Watermanagement Netherlands) het pseudo-stationaire model DEMGEN ontwikkeld, DEMand GENerator, (*Abrahamse e.a.*, 1982). DEMGEN is in hoofdlijnen een vereenvoudigde versie van UNSAT van De Laat.

Model MUST

Als typisch voorbeeld van een pseudo-stationair model wordt het programma MUST hier nader besproken.

Het model MUST berekend het verticaal vochttransport in het onverzadigde deel van de bodem alsook de actuele verdamping die daardoor mogelijk is. Desgewenst kan ook de potentiële verdamping uit meteorologische gegevens worden berekend. De onverzadigde zone is schematisch verdeeld in een wortelzone en een ondergrond. In de wortelzone is de gradiënt van de hydraulische potentiaal gelijk gesteld aan nul. De wateropname van de wortels is een functie van de drukhoogte. Deze zogenaamde 'sink' functie wordt nader besproken bij het model SWATRE (par. III. 3.3.5).

In de ondergrond wordt voor iedere tijdstap de stromingssituatie berekend, hetgeen resulteert in een flux door respectievelijk de boven- en de onderrand. Berekening is mogelijk volgens een door de gebruiker te specificeren strategie. De randvoorwaarde aan de onderzijde kan gedefinieerd worden met de flux, de grondwaterstand of een grondwaterstands-afvoerrelatie.

Voordat het programma met de feitelijke berekeningen van de optredende stromingen begint, worden eerst een aantal tabellen opgebouwd. Hierin staan stijghoogten, drukhoogten en verzadigingstekorten bij een aantal capillaire fluxen gegeven. De berekening van deze tabellen kost voor heterogene profielen vrij veel rekentijd, echter wanneer van een bepaald profiel deze tabellen een keer berekend zijn, kan het doorrekenen van meerdere jaren daarna relatief snel gebeuren.

De belangrijkste in- en uitvoergegevens van het model MUST zijn weergegeven in tabel 3.3.3.

Door meerdere gebruikers van het model MUST zijn de mogelijkheden voor in- en uitvoer aan de specifieke wensen aangepast (zie onder andere *Van Lanen*, 1981a, 1981b; *Reuling*, 1983). Door genoemde onderzoekers is ondermeer de mogelijkheid ingebouwd om op basis van grondwatertrappen te komen tot een langjarig grondwaterstandsverloop dat dan als onderrandvoorwaarde dient voor de uiteindelijke berekeningen. Verder kan de potentiële gewasverdamming worden berekend uit de openwaterverdamming (referentie-gewasverdamming) en de zogenaamde gewasfactoren (zie par. III. 2.3.7). Tevens is in deze modelversies een verband gelegd tussen verdampings- en groeireducties.

3.3.5. Niet-stationaire modellen

De waterbeweging in een kolom grond wordt geheel bepaald door de fysische eigenschappen van de bodem ($k(h)$ -relatie en dergelijke) en door de omstandigheden aan de onder- en bovenrand van de kolom grond, de zogenaamde randvoorwaarden. De drukhoogtes en vochtgehalten zijn echter niet constant, doch veranderen in de tijd. De waterbeweging in de onverzadigde zone is daardoor in wezen een niet-stationair proces. Zoals in par. III. 3.2.7 echter reeds vermeld is, kan de niet-stationaire algemene stromingsvergelijking slechts voor zeer eenvoudige stromingsgevallen analytisch opgelost worden. De niet-stationaire modellen maken gebruik van numerieke oplossings technieken; het continue proces van de waterbeweging wordt verdeeld in een aantal discrete (kleine) tijdstappen. Per tijdstap worden drukhoogte en vochtgehalte in een aantal punten berekend.

Een aantal van de bekendste niet-stationaire modellen, zoals:

- SWATRE (Soil Water Actual Transpiration Rate Extended) van het ICW, referentie: *Belmans e.a.*, 1983;
 - ONZAT van het RIVM, referentie : *Van Drecht*, 1983;
 - SOMOF (SOil MOisture Flow) van het WL, referentie : *Gilding*, 1983;
- gebruiken de zogenaamde eindige differentie-techniek als numerieke oplossingsmethode. Hierbij wordt zowel naar plaats als naar tijd een discretisatie toegepast. Bij de onverzadigde stroming, die zich vrijwel geheel in verticale richting afspeelt, wordt een één-dimensionaal model opgezet. Op een aantal punten op deze lijn (de knooppunten) worden drukhoogtes/vochtgehalten uitgerekend. De kolom grond wordt in een aantal lagen (compartimenten) verdeeld, waarbij een knooppunt als representatief voor een compartiment geldt. De voor het knooppunt uitgerekende waarden van drukhoogte, on-

verzadigde doorlatendheid en vochtgehalte vertegenwoordigen de gemiddelde waarden in het compartiment.

Een erg belangrijke randvoorwaarde is die aan de bovenkant van het systeem, aan het maaiveld. Hier wordt de netto flux door de rand (het maaiveld) beïnvloed door neerslag, interceptie en verdamping. De wateronttrekking ten behoeve van de gewasverdamping vindt echter niet alleen aan het maaiveld plaats, maar in de gehele bewortelde zone. De niet-stationaire modellen werken met een verdampingsflux per knooppunt, die representatief is voor het betreffende compartiment (de zogenaamde 'sink'-term). Dit in tegenstelling tot de pseudo-stationaire modellen, die de verdamping als flux door de bovenzijde van de wortelzone beschouwen.

De actuele gewasverdamping wordt door de modellen berekend, door uit te gaan van de potentiële verdamping. De potentiële verdamping is de grootst mogelijke gewasverdamping; bij uitdrogen van de wortelzone (afnemende drukhoogte) zal de actuele verdamping achterblijven bij de potentiële verdamping.

De kracht van numerieke methoden zoals die in de verschillende modellen gebruikt worden, ligt in de snelheid waarmee grote stelsels vergelijkingen kunnen worden opgelost met betrekkelijk eenvoudige wiskundige technieken waardoor scherpe vochtfronten goed gesimuleerd kunnen worden, met diepe grondwaterstanden gerekend kan worden en de wateronttrekking door de gewassen beter beschreven kan worden. Een verdere uiteenzetting van deze rekenmethodieken voert in dit kader te ver.

Model SWATRE

Als typisch voorbeeld van een niet-stationaire benadering wordt het model hier nader besproken.

In SWATRE wordt een eenvoudig te hanteren functie van de wateropname door het gewas gebruikt, de zogenaamde 'sink'-term:

$$S(h) = \alpha(h) \cdot S_{\max}$$

waarbij:

$S(h)$ = hoeveelheid water die door de wortels wordt opgenomen, (afhankelijk van de drukhoogte h) [$\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$]

$S_{\max}$ = maximale wateronttrekking door de wortels (bij potentiële verdamping) [$\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$].

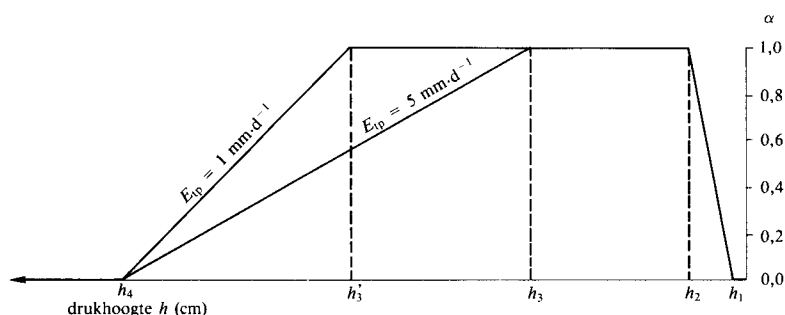
$$S_{\max} \text{ wordt berekend als: } S_{\max} = \frac{E_{\text{tp}}}{Z_r}$$

waarbij: E_{tp} = potentiële gewasverdamping en
 Z_r = bewortelingsdiepte

$\alpha(h)$ = dimensieloze factor, afhankelijk van de drukhoogte h , [-]

In figuur 3.3.7 wordt het verloop van de sink-term als functie van de drukhoogte van het bodemvocht gegeven. Wanneer de drukhoogte groter is dan h_1 (erg nat), of kleiner dan h_4 (erg droog), dan vindt geen wateropname door de wortels plaats.

Tussen h_2 en h_3 (reductiepunt) is de wateropname maximaal. Tussen h_1 en h_2 en van h_3 tot h_4 is in de figuur een lineair verband verondersteld. Echter tussen h_3 en h_4 kan ook een hyperbolisch verband gebruikt worden (met $h_4 = -16000$ cm). De ligging van het punt h_3 is afhankelijk gesteld van de verdampingsvraag van de atmosfeer, en varieert dus met de potentiële transpiratiesnelheid E_{tp} .



Figuur 3.2.5. Het verloop van de dimensieloze sink-term variabele α als functie van de drukhoogte van het bodemvocht h (naar Feddes e.a., 1978)

Als invoergegevens heeft SWATRE 24-uurscijfers nodig. Aan de bovenkant van het systeem moeten gegevens beschikbaar zijn over neerslag en potentiële evapotranspiratie (E_p). E_p kan door het programma berekend worden uit meteorologische gegevens volgens drie verschillende verdampingsconcepten.

Het profiel (dat uit verschillende horizonten kan bestaan) wordt verdeeld in een aantal even grote compartimenten (bijvoorbeeld van 10 cm dikte). De bewortelingsdiepte kan als functie van de tijd opgegeven worden, dit in tegenstelling tot bijvoorbeeld MUST, waarin de bewortelingsdiepte constant verondersteld wordt.

Naast de gebruikelijke situaties waarin de grondwaterstand zich niet al te diep bevindt, en het profiel gedeeltelijk verzadigd blijft (grondwaterstand als onderrandvoorwaarde), biedt SWATRE ook mogelijkheden voor het rekenen met diepe grondwaterstanden waarbij het bodemsysteem geheel onverzadigd blijft (grondwaterstanden altijd beneden de ondergrens). In dat geval kan als onderrandvoorwaarde gekozen worden uit:

- drukhoogte aan de rand gelijk aan de drukhoogte in het onderste compartiment
- geen stroming door de onderrand ('flux nul')
- vrije drainage door de onderrand ($\delta H / \delta z = 1$)

Door SWATRE wordt de waterbalans van alle compartimenten in het bodemprofiel in detail gesimuleerd. In vergelijking met modellen die met decadijfers werken zijn bij gebruik van SWATRE meer invoergegevens nodig.

SWATRE kan gekoppeld worden aan andere modellen, zoals een regionaal verzadigd grondwatermodel of aan een onverzadigd grondwaterkwaliteitsmodel (een voorbeeld hiervan is ONZAT). De koppeling aan het gewasproductiemodel CROPR is bij het ICW operationeel onder de naam SWACRO (*Feddes e.a., 1984*).

Tabel 3.3.4 geeft een overzicht van de belangrijkste in- en uitvoergegevens.

Tabel 3.3.4. Overzicht van de belangrijkste in- en uitvoergegevens van het model SWATRE.

<i>INVOER PER DAG</i>	
- Weersgegevens	. luchttemperatuur, relatieve luchtvochtigheid, kortgolvigestraling (of netto straling), windsnelheid en neerslag, of . potentiële verdamping en neerslag.
- Onderrandvoorwaarde	. flux vanuit de verzadigde zone (berekend als som van de infiltratie vanuit sloten en de diepe wegzijging of berekend uit de grondwaterstand-afvoerrelatie), of . drukhoogte (bij drukhoogte nul is dit de grondwaterstand)
- Gewasgegevens	. gewashoogte; . bodembedekking (of leaf area index); . diepte wortelzone; . sink-term (kritieke waarden, h_1 t/m h_4 in fig. 3.3.7)
<i>INVOER EENMALIG</i>	
- Bodemfysische gegevens	. vocht karakteristiek en capillair geleidingsvermogen (maximaal 5 verschillende bodemlagen)
- Geometrie bodem	. het profiel wordt opgedeeld in gelijke compartimenten (maximaal 40)
<i>UITVOER</i>	
- Nevenstaande termen van de waterbalans worden zowel per dag als cumulatief uitgevoerd	. neerslag, . interceptie . infiltratie (potentieel en werkelijk) . transpiratie (potentieel en werkelijk), . bodemevaporatie (potentieel en werkelijk) . flux door de onderkant van het systeem . flux door de onderkant van de wortelzone . veranderingen in bodemvocht over het gehele bodemprofiel . actuele bewortelingsdiepte . drukhoogte . vochtgehalte . wortelonttrekking . grondwaterstand

N.B. Op gezette tijdstippen worden print-plots gemaakt van vochtgehalten, drukhoogten, fluxen en dergelijke over het gehele profiel.

Vergelijking van modellen.

Onder auspiciën van de *Commissie Hydrologisch Onderzoek TNO* (1985) is in de periode 1982 - 1984 een vergelijking uitgevoerd van modellen die de stroming van water in de onverzadigde grond en de verdamping beschrijven, en waarmee dus onder andere de vochtleverantie bepaald kan worden. Het betreft hier de modellen:

- DEMGEN van Rijkswaterstaat (RWS), pseudo-stationair
- MUST van het Institute for Hydraulic and Environmental Engineering (IHE), pseudo-stationair
- ONZAT van het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiëne (RIVM), niet-stationair
- SOMOF van het Waterloopkundig Laboratorium (WL), niet-stationair
- SWATRE van het Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding (ICW), niet-stationair

3.3.6. Regionale, gekoppelde modellen

In tal van regionale studies, zoals studies naar de baten van wateraanvoerplannen kan niet worden volstaan met alleen een model van de onverzadigde zone. Ook de processen in het verzadigde grondwatersysteem moeten dan eigenlijk in de beschouwingen betrokken worden.

Modellen die het onverzadigd-verzadigd systeem als een geïntegreerde zone beschouwen zijn zeldzaam. Een voorbeeld van een dergelijk model is UNSAT-2 van *Neuman e.a.* (1975). Een dergelijk geïntegreerde benadering vereist echter erg veel meer computertijd dan een aanpak waarin beide zones onafhankelijk beschouwd worden, zie *De Laat* (1980).

Een andere benadering voor het gecombineerde onverzadigd-verzadigde systeem is die waarbij twee afzonderlijke modellen, een verzadigd en een onverzadigd, gekoppeld worden. De koppeling vindt plaats door middel van de randvoorwaarde aan de onderrand van het onverzadigde systeem (bijvoorbeeld $q(h)$ relatie).

Voorbeelden van een dergelijke aanpak zijn:

- PREDIS, een in 1983 door het Waterloopkundig Laboratorium ontwikkeld model om de effecten van ingrepen in het hydrologische regime te voorspellen zie *Gilding* (1983) en *Crebas en Wesseling* (1983). PREDIS bestaat uit vier onderdelen:
 - a. SOMOF voor de onverzadigde zone (zie par. III.3.3.5)
 - b. GROMULA voor de verzadigde grondwaterstroming
 - c. WAFLOW voor het watertransport door open leidingen
 - d. DRAIN voor de drainage afvoer

- GELGAM, in het kader van de werkzaamheden van de Commissie Waterhuishouding Gelderland ontwikkeld in de periode 1974-1981, zie *Awater en De Laat* (1980). Hierin is het pseudo-stationaire model UNSAT (*De Laat*, 1980) gekoppeld aan een niet-stationair regionaal model voor de verzadigde stroming van Kovar (1981).

Het werken met modellen van deze grootte vereist een grote hoeveelheid invoergegevens, veel kennis van zaken en veel computertijd. De toepassingen van de regionale, gekoppelde modellen zijn mede hierdoor nog beperkt gebleven.

3.3.7. Literatuur

- Abrahamse, A.H., G. Baarse and E. van Beek, 1982.
Policy Analysis of Water Management for the Netherlands. Vol. XII, Model for Regional Hydrology, Agricultural Water Demands and Damages from Drought and Salinity. Rand Corporation and Delft Hydraulics Laboratory.
- Awater, R.H.C.M. and P.J.M. de Laat, 1980.
Groundwater flow and evapotranspiration. A simulation model. Part 2. Practical application. Basisrapport Commissie Bestudering Waterhuishouding Gelderland.
- Belmans, C., J.G. Wesseling and R.A. Feddes, 1983.
Simulation model of the water balance of a cropped soil: SWATRE. *Journal of Hydrology* 63, 3/4: p. 271-286.
- Bouma, J., 1977.
Soil Survey and the study of water in the unsaturated soil. *Soil Survey Papers* nr. 13. StiBoka, Wageningen.
- Commissie Grondwaterwet Waterleidingbedrijven, 1984.
Landbouwkundige Aspecten van Grondwateronttrekking. Berekening van schade als gevolg van kunstmatige verlaging van de grondwaterstand Rp. van de Werkgroep Landbouwkundige Aspecten.
- Commissie Hydrologisch Onderzoek TNO, 1985.
Vergelijking van modellen voor het onverzadigd grondwatersysteem en de verdamping. *Serie Rapporten en nota's* No 13. 's-Gravenhage.
- Crebas, J.I. en J.W. Wesseling, 1983.
PREDIS, een mathematisch model voor de landfase van de hydrologische kringloop. *Cultuurtechn. Tijdschr.* 23(3) : p. 113-123.
- Drecht, G. van, 1983.
Simulatie van verticaal, niet stationair transport van water en opgeloste stof in de grond. *Meded.-R.I.D.* 1983 - 11. Rijks. Instit. voor Drinkwatervoorziening 's-Gravenhage.
- Feddes, R.A., 1971.
Water, heat and crop growth. Thesis Comm. Agric. Univ. Wageningen.
- Feddes, R.A., P.J. Kowalik and H. Zaradny, 1978.
Simulation of fieldwater use and crop yield. *Simulation Monographs Series*. Pudoc, Wageningen
- Feddes, R.A., J.G. Wesseling and J. Wiebing, 1984.
Simulation of transpiration and yield of potatoes with the SWACRO-model. In: *Proceedings of the 9th triennial conference of the European Association of Potato Research*. p.346-348, Interlaken, Switzerland.
- Feitsma, K.S., 1969.
Grondverbetering in het noordwestelijk deel van Oostelijk Flevoland. *Cultuurtechn. Tijdschr.* 9(2): p. 86-98
- Gilding, B.H., 1983.
The soil moisture zone in a physical based hydrologic model. *Advances in Water Resources* 6: p.36-43.

- Kovar, K., 1981.
Model description, model for saturated groundwater flow. In : Model study Over Betuwe, Volume 2. Basisrapport Commissie Bestudering Waterhuishouding Gelderland.
- Laat, P.J.M. de, 1980.
Model for the unsaturated flow above a shallow watertable, applied to a regional sub-surface flow problem. Thesis Agric. Univ. Agric. Res. Rep. 895. Pudoc, Wageningen.
- Laat, P.J.M. de, 1982.
MUST, a simulation model for unsaturated flow. International Institute for Hydraulic and Environmental Engineering, Delft. Concept.
- Laat, P.J.M. de, 1985.
MUST - a simulation model for unsaturated flow. Report series no. 16 International Institute for Hydraulic and Environmental Engineering, Delft.
- Laat, P.J.M. de and R.H.C.M. Awater, 1978.
Groundwater flow and evapotranspiration. A simulation model. Part 1 : Theory. Basisrapport Commissie Bestudering Waterhuishouding Gelderland.
- Lanen, H.A.J. van, 1981a
De opbrengstverandering bij grasland ten gevolge van diepe grondwaterwinning in West-Utrecht. Meded. R.I.D. '81 - 1. Rijks Instit. voor Drinkwatervoorziening, 's-Gravenhage.
- Lanen, H.A.J. van, 1981.
Berekening van de capillaire opstijghoogte en het bergend vermogen in gelaagde bodemprofielen. Rph. 81-11. R.I.D. Rijks Instit. voor Drinkwatervoorziening, 's-Gravenhage.
- Mooy, H., 1981.
Vochtleverantie van gelaagde ondergronden. Interne notitie Technisch Secretariaat COGROWA (niet gepubliceerd).
- Neuman, S.P., R.A. Feddes and E. Bresler, 1975.
Finite element analysis of two dimensional flow in soils, considering water uptake by roots. I. Theory. Proceedings Soil Science Society of America 39 : p. 224-230. Ook: Verspr. Overdr. 173, Instit. voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Wageningen.
- Rijniersce, K., 1976.
Beschrijving van een methode voor de berekening van capillaire opstijging in gelaagde profielen. Rijksdienst voor de IJsselmeer Polders, werkdocument 1976 - 292 Bwb.
- Rijtema, P.E., 1971.
Een berekeningsmethode voor de benadering van de landbouwschade ten gevolge van grondwateronttrekking. Nota 587 Instit. voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Wageningen.
- Sluijs, P. van der, 1985.
Vochtlevering door de grond. Bodemnatuurkunde. Voorpublicatie uit: Bodemkunde van Nederland, deel 1, Algemene Bodemkunde, hoofdstuk 18.
- Wesseling, J., 1957.
Enige aspecten van de waterbeheersing in landbouwgronden. Proefschrift. Versl. van Landbouwk. Onderz. 63.5. Pudoc, Wageningen.
- Wesseling, J.G., G.W. Bloemen and W.A.J.M. Kroonen, 1984.
Computer program CAPSEV to calculate : I. Soil hydraulic conductivity from grain size distribution. II. Steady state waterflow in layered soil profiles. Nota 500, Instit. voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Wageningen
- Wösten, J.H.M., M.H. Bannink en J. Beuving, 1987
Waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken van boven ondergronden in Nederland. De Staringreeks. Rp. 1932 Stichting voor Bodemkartering, Wageningen. Ook Rp. 18 Instit. voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Wageningen.

4. Waterbeheersing

4.1. Ontwatering

4.1.1. Begrippen

De onderstaande begrippen zijn ontleend aan de "Verklarende Hydrologische Woordenlijst", *Commissie voor Hydrologisch Onderzoek TNO* (1986).

Nr.	Term	Omschrijving	Gangbare eenheid	Dimensie	Symbool
1	ontwatering	De afvoer van water uit percelen over en door de grond en eventueel door drainbuizen en greppels naar een stelsel van grotere waterlopen	-	-	-
2	afwatering	De afvoer van water via een stelsel van open waterlopen naar een lozingspunt van het afwateringsgebied	-	-	-
3	ontwateringskarakteristiek	Verband tussen de specifieke grondwaterafvoer (7) en de gemiddelde grondwaterstandsdiepte.	-	-	-
4	grondwater-spiegel	Het oppervlak door de punten waar het grondwater een drukhoogte gelijk nul heeft.	-	-	-
5	grondwater-stand	De hoogte t.o.v. een referentieniveau van een punt waar het grondwater een drukhoogte gelijk nul heeft (de absolute waterdruk is dan gelijk aan de druk van de atmosfeer). (Grondwaterstand is ongelijk aan grondwaterstandsdiepte (6)).	m	L	h
6	grondwater-standsdiepte	De afstand tussen het grondoppervlak en de grondwaterstand (5).	m	L	h^*
7	specifieke grondwater-afvoer	Grondwaterafvoer per eenheid van oppervlakte van het stroomgebied.	$\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$	L T^{-1}	U
8a	doorlatendheid	Het vermogen van de grond om vloeistof of gas door te laten.	-	-	-
8b	doorlaatfactor	Een maat voor het vermogen van de grond om vloeistof of gas door te laten, gelijk te stellen aan het volume water dat per tijdseenheid door een eenheid van oppervlakte stroomt als de stijghoogtegradiënt loodrecht op het oppervlak gelijk is één.	$\text{m} \cdot \text{d}^{-1}$	L T^{-1}	K, k

Nr.	Term	Omschrijving	Gangbare eenheid	Dimensie	Symbool
9	doorlaat-vermogen	Maat voor het vermogen van een watervoerend pakket om water door te laten, gelijk te stellen aan de volumestroom (22) die per breedte-eenheid van het watervoerend pakket en per eenheid van stijghoogtegradiënt door een watervoerende laag stroomt.	$m^2 \cdot d^{-1}$	$L^2 T^{-1}$	T, kD, KD
10	effectieve grondwater-snelheid	Snelheid van de waterdeeltjes, te berekenen als quotiënt van de filtersnelheid (12) en de effectieve porositeit (11).	$m \cdot d^{-1}$	$L T^{-1}$	v_e
11	effectieve porositeit	Het volume van de poriën, dat beschikbaar is voor transport van vloeistof, gedeeld door het totale volume van de grond (bodemdeeltjes en poriën). (Deze term niet gebruiken voor bergingscoëfficiënt (14)).	-	-	n_e
12	filtersnelheid	Snelheid met een richting gelijk aan de gemiddelde stroomrichting van de waterdeeltjes in de directe omgeving van het beschouwde punt en met een absolute waarde gelijk aan de volumestroomdichtheid (23) in die richting.	$m \cdot d^{-1}$	$L T^{-1}$	v
13	berging	Het volume water dat aanwezig is in een nader aan te geven deel van de grond.	m^3	L^3	V
14	bergings-coëfficient	Het quotiënt van de verandering in specifieke berging (15) en de bijbehorende verandering van de stijghoogte c.q. grondwaterstand.	-	-	S, μ
15	specifieke berging	Berging (13) boven een nader aan te geven referentievlak per eenheid van horizontaal oppervlak.	mm	L	S_w
16	drainage	1. De afvoer van water over en door de grond en door het waterlopenstelsel. 2. Het systeem dat de afvoer van water mogelijk maakt. (Hier is sprake van onjuist taalgebruik; het is beter om van drainage-systeem te spreken).	- -	- -	- -
17	drainage-weerstand	De weerstand tegen de grondwaterstroming naar open of gesloten leidingen, te berekenen als quotiënt van de opbolling (19) en de specifieke afvoer (7) bij stationaire stroming.	d	T	v

Nr.	Term	Omschrijving	Gangbare eenheid	Dimensie	Symbool
18	radiale weerstand	Het verschil tussen de weerstand die per strekkende meter leiding wordt ondervonden door de werkelijke grondwaterstroming naar een relatief ondiepe leiding en de weerstand bij een even grote grondwaterstroming naar een denkbeeldige open leiding met verticale taluds en de bodem in de ondoorlatende basis, eveneens per strekkende meter leiding.	$m \cdot d^{-1}$	$L^{-1} T$	Ω
19	opbolling	Het verschil tussen het hoogste punt van de grondwaterspiegel (h_m) en de waterstand in de leidingen (h_0) ofwel het maximale hoogteverschil tussen de grondwaterspiegel en het (niet horizontale) vlak door de waterspiegels van de leidingen.	m	L	m
20	kwel	a. In het algemeen: het uittreden van grondwater. b. In het bijzonder: het uittreden van grondwater onder invloed van grotere stijghoogten buiten het beschouwde gebied; het uittreden van water dat binnen het gebied aan het oppervlak is toegevoerd, valt dus buiten deze term. Het uittreden kan onder meer geschieden direct aan het grondoppervlak in sloten, drains of via capillaire opstijging.	-	-	-
21	kwel-intensiteit	Het volume van het water dat door kwel (20) de grond uittreedt per eenheid van tijd en per eenheid van horizontaal oppervlak van het beschouwde gebied.	$mm \cdot d^{-1}$	$L T^{-1}$	U_k
22	volumestroom, flux,	Het volume water dat per tijdseenheid door een gegeven oppervlak stroomt.	$m^3 \cdot d^{-1}$	$L^3 T^{-1}$	Q, q_v
23	volumestroom-dichtheid	Het differentiaalquotiënt van de volumestroom (22) naar het oppervlak, soms aangeduid als volumestroom per eenheid van oppervlak.	$m \cdot d^{-1}$	$L T^{-1}$	v

- Om redactionele redenen is soms van de aangegeven symbolen afgeweken. Voor specifieke grondwaterafvoer wordt in dit hoofdstuk bijvoorbeeld q gebruikt in plaats van U .

4.1.2. Doorlatendheidsmetingen

De doorlatendheid is het vermogen van grond om vloeistof of gas door te laten. De doorlaatfactor is een maat voor de doorlatendheid voor water en kan gedefinieerd worden als de evenredigheidsfactor in de wet van Darcy voor de stroming van water in de grond.

$$v = -k \cdot i \quad (4.1.1)$$

waarin:

$$v = \text{filtersnelheid} \quad (\text{m} \cdot \text{d}^{-1})$$

$$k = \text{doorlaatfactor} \quad (\text{m} \cdot \text{d}^{-1})$$

$$i = \text{potentiaalgradiënt} \quad (\text{m} \cdot \text{m}^{-1})$$

De filtersnelheid komt overeen met de volumestroom ($\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$) per eenheid van oppervlakte (m^2). De effectieve grondwatersnelheid (v_e) is groter, omdat alleen de poriën bijdragen aan het watertransport. In dit hoofdstuk wordt steeds over de verzadigde doorlatendheid gesproken. In dat geval zijn alle poriën gevuld met water en is v_e globaal gelijk aan $v \cdot \epsilon^{-1}$ als ϵ de poriënfractie van de grond voorstelt.

De doorlatendheid van de bodem kan als volgt worden geclassificeerd:

$k \text{ (m} \cdot \text{d}^{-1}\text{)}$	klasse
$< 0,01$	zeer slecht
$0,01 - 0,10$	slecht
$0,10 - 0,50$	matig
$0,50 - 1,0$	vrij goed
$1,0 - 10$	goed
> 10	zeer goed

De doorlaatfactor kan vooral in fluviatiele afzettingen verschillen in horizontale en verticale richting (anisotropie). Hiermee dient in bepaalde gevallen rekening te worden gehouden (*Boumans, 1978*). De doorlaatfactor is niet altijd constant in de tijd maar kan veranderen, onder andere door verdichting, zwel en krimp, bezetting van het adsorptiecomplex.

Omdat de doorlaatfactor afhankelijk is van de dichtheid en de viscositeit van water, is hij afhankelijk van de temperatuur. Bij laboratoriummetingen is het gebruikelijk de gemeten doorlaatfactor (k_T) te herleiden tot die bij 10°C (k_{10}) volgens:

$$k_{10} = k_T \cdot e^{0,30 - 0,3T} \quad (4.1.2)$$

De doorlaatfactor kan op verschillende manieren worden bepaald. Er kan onderscheid gemaakt worden in:

- correlatieve en empirische methoden
- laboratoriummethoden
- veldmethoden

De in Nederland meest toegepaste methoden worden hierna kort besproken.

Correlatieve en empirische methoden

Deze methoden zijn gebaseerd op de poriëngrootteverdeling van de grond. In de literatuur wordt voor zand zonder slib of lutum vaak de volgende formule voor de doorlaatfactor gegeven:

$$k = C \cdot \frac{n_e^3}{(1-n_e)^2} \cdot U^{-2} \quad (4.1.3)$$

waarin:

- C = coëfficiënt, afhankelijk van de vorm van korrels en de poriën
- n_e = effectieve porositeit
- U = U -cijfer (zie hfdst. II. 2. Bodemkundige indelingen)

Verskillende onderzoekers geven voor C waarden variërend van $17 \cdot 10^4$ tot $26 \cdot 10^4$ bij een n_e van 0,40.

Voor homogene zandgronden met niet meer dan 4 à 6 % slib geeft *Ernst* (niet gepubliceerd, 1955):

$$k = 54000 \cdot C_{so} \cdot C_{cl} \cdot C_{gr} \cdot U^{-2} \quad (4.1.4)$$

waarin:

- C_{so} = correctiefactor voor de zandsortering
- C_{cl} = idem voor slibgehalte
- C_{gr} = idem voor grindgehalte

De correctiefactoren kunnen in figuur 4.1.1 worden afgelezen.

Voor de bepaling van C_{so} wordt het gewichtspercentage van de drie best vertegenwoordigde, aangrenzende subfracties gebruikt.

Voor zand en lichte zavel met een lutumgehalte van maximaal 12% geeft de *Grontmij* (1979)

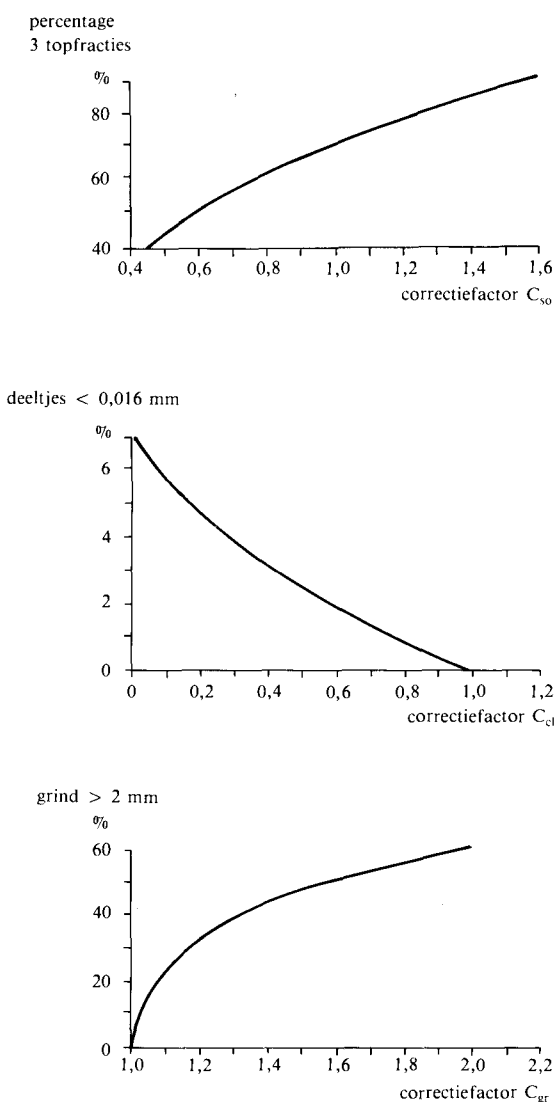
$$k = \left(\frac{M50}{60} \right)^2 \cdot 10^{-0,2L} \quad (4.1.5)$$

waarin:

- $M50$ = M50-cijfer (zie hfdst. II. 2. Bodemkundige indelingen)
- L = lutumgehalte in %

De correlatieve en empirische methoden worden meestal toegepast indien op andere wijze geen doorlaatfactor kan worden bepaald. Bedacht moet worden dat ze een orde van grootte van de doorlaatfactor geven en geen nauwkeurig resultaat.

Figuur 4.1.1.
*Correctiefactoren voor het schatten
 van de doorlaatfactor van zand uit
 de korrelgrootteverdeling (Ernst, 1955)*



Laboratoriummethoden

Bij deze methoden wordt de doorlaatfactor bepaald met behulp van in het veld gestoken cilinders (Kopecky-ringen) met ongeroerde grond. Afhankelijk van de wijze waarop de monsters zijn gestoken, kan de horizontale of verticale doorlatendheid worden bepaald. Na verzadiging van de grond wordt er een potentiaalverschil over het monster aangebracht en wordt de volumestroom gemeten. Als er een constant potentiaalverschil (figuur 4.1.2a) wordt toegepast (constant-head methode) kan de doorlaatfactor worden berekend uit:

$$K = \frac{Q}{A} \cdot \frac{L}{\Delta h} \quad (4.1.6)$$

waarin:

Q	= volumestroom	$(\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1})$
A	= oppervlakte van het monster	(m^2)
L	= lengte van het monster	(m)
Δh	= potentiaalverschil	(m)

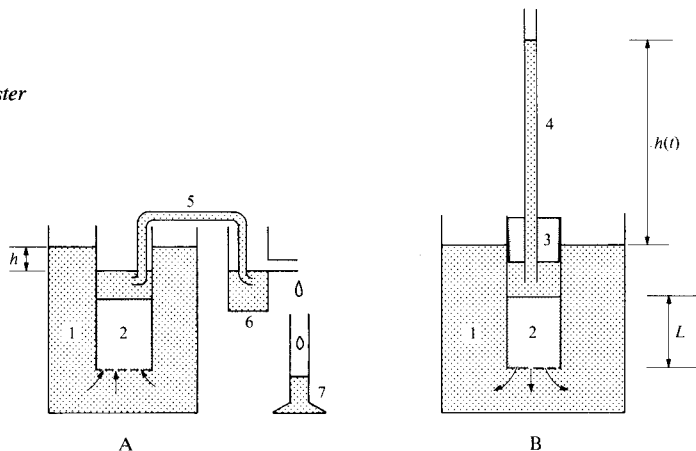
Bij de falling-head methode, die meestal gebruikt wordt bij lage doorlaatfactoren, wordt de daling van het waterniveau in de stijgbuis gemeten (figuur 4.1.2b). De doorlaatfactor wordt dan berekend met behulp van de formule.

$$K = \frac{A_1}{A_2} \cdot \frac{L}{t_2 - t_1} \cdot \ln \frac{h(t_1)}{h(t_2)} \quad (4.1.7)$$

waarin:

A_1	= oppervlak van het monster	(m^2)
A_2	= oppervlak van de stijgbuis	(m^2)
L	= lengte van het monster	(m)
t_2, t_1	= meettijden	(d)
$h(t_1), h(t_2)$	= potentiaalverschil op de tijdstippen t_1 en t_2	(m)

- 1) Reservoir met constant waterpeil
- 2) Onderzijde grondmonster afgedekt met zeef
- 3) Afsluiting
- 4) Stijgbuisje
- 5) Hevel
- 6) Overloopvat
- 7) Maatglas



Figuur 4.1.2. Principeschema's van de meetopstelling voor doorlatendheidsmetingen met de constant head (A) en de falling head methode (B).

De nauwkeurigheid waarmee met de laboratoriummethoden een indruk kan worden verkregen over de grootte van de doorlaatfactor, wordt voornamelijk beperkt door de betrekkelijk geringe grootte van de monsters. Om een redelijke indruk te krijgen, zijn als regel veel monsters nodig.

Veldmethoden

Hiervoor zijn veel methoden bekend. Alleen de belangrijkste worden hierna kort besproken.

Boorgatmethode

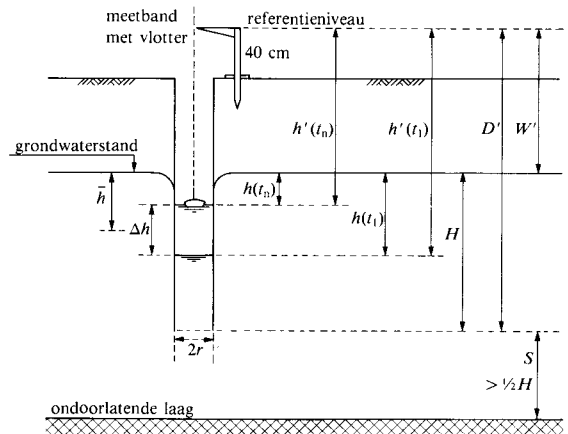
De methode is geschikt voor het bepalen van de doorlaatfactor van het profielgedeelte beneden de grondwaterstand. De methode is uitvoerig beschreven door *Van Beers* (1976). De methode levert de gemiddelde horizontale doorlaatfactor van een cilinder grond met een straal van 0,30 a 0,50 m en een hoogte vanaf de grondwaterspiegel tot circa 0,20 m beneden de onderkant van het boorgat, tenzij er op geringe diepte onder het boorgat een relatief slechter doorlatende laag voorkomt.

Voor de bepaling wordt een boorgat gemaakt tot een bepaalde diepte beneden de grondwaterstand. Bij de directe meting wordt direct daarna de stijgsnelheid van het water in het boorgat gemeten.

Bij de indirecte meting wordt, nadat de waterstand zich in het boorgat heeft ingesteld, een gedeelte van het water uitgepuld of uitgepompt en wordt vervolgens de stijgsnelheid van het water gemeten (figuur 4.1.3).

Figuur 4.1.3.

De boorgat methode.



De doorlaatfactor wordt berekend uit:

$$k = C \cdot \frac{\Delta h}{\Delta t} \quad (4.1.8)$$

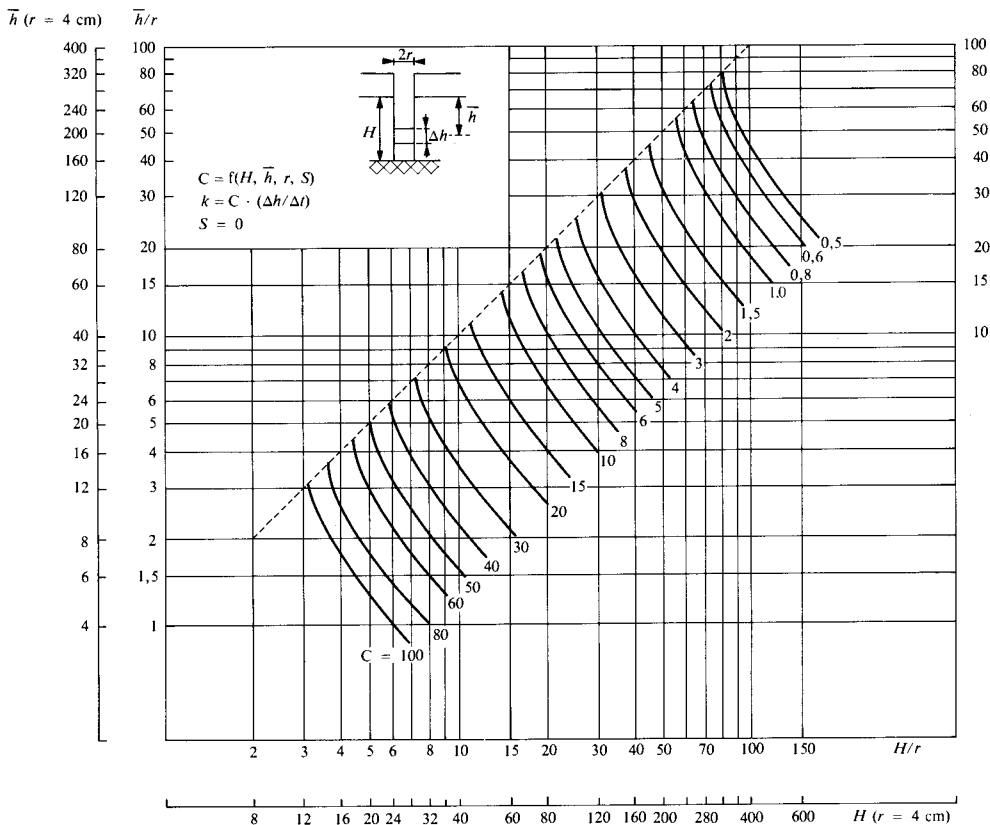
waarin:

$$C = \text{geometriefactor} = f(\bar{h}, H, r, s)$$

$$\frac{\Delta h}{\Delta t} = \text{stijgsnelheid van het water in het boorgat (cm} \cdot \text{s}^{-1}\text{)}$$

De geometriefactor kan voor verschillende waarden van $\bar{h}$, H en r worden afgelezen in de figuren 4.1.4 en 4.1.5. Voor het geval $S = 0$ (boorgat tot ondoorlatende laag) geldt figuur 4.1.4. Voor het geval $S > \frac{1}{2}H$ geldt figuur 4.1.5.

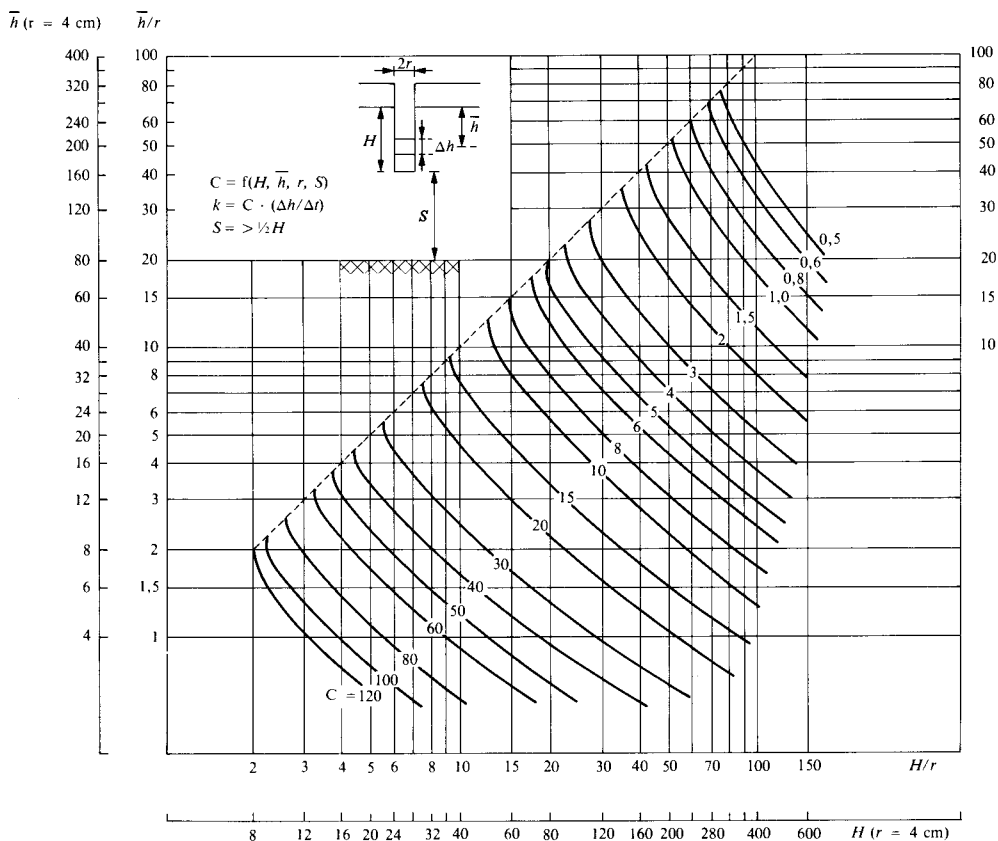
Bij de toepassing van de methode moet erop gelet worden dat de meting beëindigd moet zijn voordat 25% van de uitgepulste hoeveelheid water in het boorgat is teruggestroomd, dat wil zeggen $\Delta h < \frac{1}{4}h$ (t_1).



Figuur 4.1.4. Nomogram voor de bepaling van de C bij de boorgat methode ($S = 0$) volgens Ernst, 1950.

Verdere opmerkingen bij de methode:

- Er moet gewaakt worden voor versmering van het boorgat. In onstabiele gronden is het noodzakelijk een filterbuis te gebruiken om inzakken van het boorgat te voorkomen.



Figuur 4.1.5. Nomogram voor de bepaling van de C bij de boorgat methode ($S > \frac{1}{2} H$) volgens Ernst, 1950.

- Bij de indirecte methode hangt de tijd die nodig is voor het instellen van de waterspiegel in het boorgat af van de doorlaatfactor. Deze tijd kan globaal geschat worden uit:

k	$< 0,1 \text{ m} \cdot \text{d}^{-1}$	$> 6 \text{ uur}$
k	$0,1 - 0,5 \text{ m} \cdot \text{d}^{-1}$	$2 \text{ à } 6 \text{ uur}$
k	$0,5 - 1,0 \text{ m} \cdot \text{d}^{-1}$	$0,5 \text{ à } 2 \text{ uur}$
k	$> 1,0 \text{ m} \cdot \text{d}^{-1}$	$< 0,5 \text{ uur}$

Het verdient aanbeveling de stijgsnelheid met korte tijdsintervallen te meten om het verloop ervan te kunnen nagaan. Dikwijls wordt bij het begin van de meting een te hoge stijgsnelheid gemeten, omdat er nog water van de wand van het boorgat stroomt na het uitpulsen. Het eerste meetinterval wordt dan ook meestal buiten beschouwing gelaten.

- Voor het geval dat voor de diepte van de ondoorlatende laag geldt $0 < S < \frac{1}{2}H$, kan de doorlaatfactor worden geschat tussen de waarden die gevonden worden voor $S = 0$ en $S > \frac{1}{2}H$.
- Indien er twee lagen in het profiel voorkomen met een duidelijk verschil in doorlatendheid, kan de doorlaatfactor van elk van de lagen worden bepaald door te meten in twee boorgaten met verschillende diepte (*Van Beers, 1976; Boumans, 1972*).

Omgekeerde boorgatmethode

Deze methode wordt aanbevolen voor het bepalen van de verzadigde doorlaatfactor van bodemlagen die boven de grondwaterspiegel liggen. De wijze van uitvoering komt overeen met die van de boorgatmethode. Het boorgat wordt nu echter gevuld met water en vervolgens wordt de snelheid waarmee het water wegzakt gemeten. De methode is beschreven door *Van Hoorn (1978)*.

Kubusmethode

Bij deze methode wordt een kubus grond in het profiel uitgesneden en geprepareerd door de wanden van de kubus af te dichten met gips. Vervolgens wordt er een laag water van constante dikte op de bovenzijde gezet en wordt de hoeveelheid percolerend water gemeten. Door het afdichten van boven- en onderzijde en het vrijmaken van twee tegenoverliggende zijwanden, kan na kanteling van de kubus de horizontale doorlaatfactor op dezelfde wijze worden gemeten.

Met de methode is het mogelijk de verzadigde doorlaatfactor te meten van natuurlijke, natte of zeer vochtige grond. Het voordeel van de methode is dat de doorlaatfactor van relatief grote ongestoorde monsters kan worden bepaald. Ook kan met deze methode de doorlaatfactor in de directe omgeving van een drain worden bepaald. In dat geval wordt een gedeelte van de drain en de drainsleuf in de kubus meegenomen. De methode is beschreven door *Dekker e.a. (1981)*.

Q-Y lijnmethode

Deze methode wordt vaak toegepast bij het beoordelen van de ontwateringstoestand van gedraineerde percelen. Daartoe wordt in een grafiek de relatie tussen de grondwaterstand midden tussen de drains uitgezet tegen de afvoer. Uit de vorm van de curve kan de ontwateringstoestand worden afgeleid. Door het toepassen van de formule van Hooghoudt kan de doorlatendheid worden bepaald van de bodemlagen beneden en boven drainniveau (*Segeren, 1967*).

Naast de hierboven beschreven methoden zijn er nog andere, die in Nederland weinig worden toegepast, zoals:

- piëzometer-methode (*Luthin en Kirkham, 1949*)
- dubbele-buismethode (*Bouwer, 1961*)
- infiltrometermethode (*Kessler en Oosterbaan, 1974*).

Doorlatendheid van gelaagde profielen

In de praktijk komt het dikwijls voor dat het bodemprofiel bestaat uit een aantal lagen met verschillende doorlaatfactoren (figuur 4.1.6). Voor de meeste berekeningen van de grondwaterstroming is het dan gewenst met een gemiddelde doorlaatfactor $\bar{k}$ voor het totale pakket te rekenen.

Deze gemiddelde doorlaatfactor kan als volgt worden berekend:

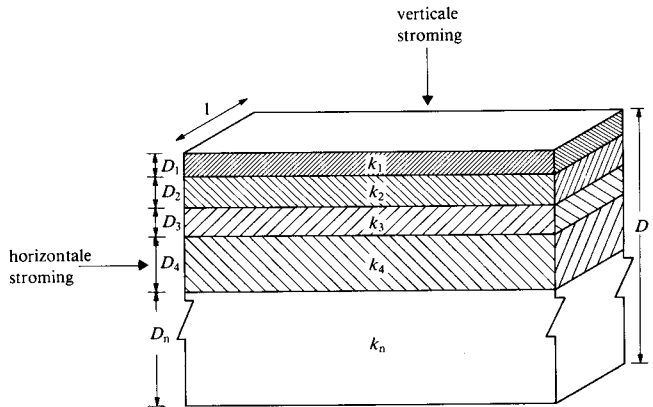
a. bij horizontale stroming

$$\bar{k} = \frac{k_1 D_1 + k_2 D_2 + \dots + k_n D_n}{D} \quad (4.1.9)$$

b. bij verticale stroming

$$\bar{k} = \frac{D}{\frac{D_1}{k_1} + \frac{D_2}{k_2} + \dots + \frac{D_n}{k_n}} \quad (4.1.10)$$

Figuur 4.1.6.
Berekening gemiddelde
doorlaatfactor.



Voor het middelen van doorlaatfactoren van eenzelfde laag, bijvoorbeeld bij de boorgatmethode ten behoeve van bepaling van de drainafstand, is het gewenst het geometrisch gemiddelde te nemen. Dit omdat de uitkomsten niet normaal, maar logaritmisches zijn verdeeld. Het geometrisch gemiddelde wordt berekend volgens:

$$\bar{k} = \sqrt[n]{k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot \dots \cdot k_n} \quad (4.1.11)$$

4.1.3. Bepaling van drain- en slootafstanden

Formules voor stationaire stroming

Deze formules gelden voor stationaire afvoer van overtollige neerslag door de verzadigde zone naar een stelsel van evenwijdige drains, greppels of sloten. In de weg die het water moet afleggen naar de ontwateringsmiddelen zijn verschillende stadia te onderscheiden. Elk van deze stadia wordt gekenmerkt door een bepaalde weerstand, waarbij voor de stroming een zekere drukhoogte nodig is. Te onderscheiden zijn:

- verticale weerstand in de lagen waarin water zich overwegend verticaal naar beneden verplaatst;
- horizontale weerstand in de lagen waarin het water voornamelijk horizontaal in de richting van de ontwateringsmiddelen stroomt;
- radiale weerstand in het gebied waarin de stroomlijnen sterk gaan convergeren, dat wil zeggen in de nabijheid van de ontwateringsmiddelen;
- intreeweerstand voor de stroming door de buis- of slootwand. In het geval van buizen-drainage wordt de weerstand tegen stroming door het omhullingsmateriaal ook vaak tot de intreeweerstand gerekend.

Van de in de literatuur beschreven formules worden alleen die van Hooghoudt en Ernst behandeld. Bij beide formules wordt zowel de horizontale als de radiale weerstand in rekening gebracht. In de formule van Ernst wordt tevens de verticale weerstand meegenomen. De intreeweerstand wordt bij drainage meestal verwaarloosd, omdat de hiervoor benodigde drukhoogte als regel minder dan 0,05 m bedraagt. In de praktijk kan in bijzondere gevallen de intreeweerstand hoog zijn door verstopping van perforaties en omhulling. Voor de berekening van de drainafstanden voor anisotrope profielen wordt verwezen naar *Boumans* (1978).

Bij de bespreking van de formules wordt alleen op de toepassing voor berekening van de drainafstanden ingegaan. Voor sloten dient in plaats van draindiepte, slootpeil te worden gelezen.

Formule van Hooghoudt

De formule is toepasbaar voor homogene en 2-lagen profielen, indien de laagscheiding samenvalt met de draindiepte. Ze wordt bij voorkeur toegepast als de doorlatendheid van de bovenste laag groter is of gelijk is aan die van de onderste laag.

$$L^2 = \frac{8 k_2 d m + 4 k_1 m^2}{q} \quad (4.1.12)$$

waarbij:

L	= drainafstand	(m)
q	= specifieke afvoer	(m · d ⁻¹)
k_1	= doorlaatfactor van de laag boven draindiepte	(m · d ⁻¹)
k_2	= doorlaatfactor van de laag beneden draindiepte	(m · d ⁻¹)
m	= opbolling	(m)
d	= dikte van de equivalentlaag	(m)

De dikte van de equivalentlaag is kleiner of gelijk aan de diepte (*D*) van de ondoorlatende laag beneden draindiepte. Hiermee wordt de radiale weerstand in rekening gebracht. De waarde van *d* kan worden benaderd met de formule:

$$d = \frac{D}{1 + \frac{8D}{\pi L} \ln \frac{D}{\pi r}} = \frac{D}{1 + \frac{8D}{\pi L} \ln \frac{D}{u}} \qquad (d \leq \tfrac{1}{4}L) \qquad (4.1.13)$$

waarin:

- r* = straal van de drain (m)
- u* = natte omtrek van de drain of sloot (m)

Bij de straal van de buis mag ook de dikte van de omhulling worden opgeteld. Bij een goed doorlatende drainsleuf mag een grotere straal worden genomen. In dat geval is het gebruikelijk als natte omtrek de sleufbreedte plus 2× de diameter van de drain te nemen. Evenals voor de natte omtrek van een sloot geldt dan de relatie *u* = *πr*. Voor de veel toegepaste waarde van *r* = 0,1 m voor drainage kan *d* in tabel 4.1.1 worden afgelezen.

Tabel 4.1.1. Waarden voor de equivalente diepte *d* van Hooghoudt (*r* = 0,1 m, *D* en *L* in m).

L =	5	7,5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	m
D												
0,5	0,47	0,48	0,49	0,49	0,49	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	
0,75	0,60	0,65	0,69	0,71	0,73	0,74	0,75	0,75	0,75	0,76	0,76	
1,00	0,67	0,75	0,80	0,86	0,89	0,91	0,93	0,94	0,96	0,96	0,96	
1,25	0,70	0,82	0,89	1,00	1,05	1,09	1,12	1,13	1,14	1,14	1,15	
1,50		0,88	0,97	1,11	1,19	1,25	1,28	1,31	1,34	1,35	1,36	
1,75		0,91	1,02	1,20	1,30	1,39	1,45	1,49	1,52	1,55	1,57	
2,00			1,08	1,28	1,41	1,50	1,57	1,62	1,66	1,70	1,72	
2,25			1,10	1,34	1,50	1,60	1,69	1,76	1,81	1,84	1,86	
2,50			1,13	1,38	1,57	1,69	1,79	1,87	1,94	1,99	2,02	
2,75				1,42	1,63	1,76	1,88	1,98	2,05	2,12	2,18	
3,00				1,45	1,67	1,83	1,97	2,08	2,16	2,23	2,29	
3,25				1,48	1,71	1,88	2,04	2,16	2,26	2,35	2,42	
3,50				1,50	1,75	1,93	2,11	2,24	2,35	2,45	2,54	
3,75				1,52	1,78	1,97	2,17	2,31	2,44	2,54	2,64	
4,00					1,81	2,02	2,22	2,37	2,51	2,62	2,71	
4,50					1,85	2,08	2,31	2,50	2,63	2,76	2,87	
5,00					1,88	2,15	2,38	2,58	2,75	2,89	3,02	
5,50						2,18	2,43	2,65	2,84	3,00	3,15	
6,00						2,20	2,48	2,70	2,92	3,09	3,26	
7,00							2,54	2,81	3,03	3,24	3,43	
8,00								2,85	3,13	3,35	3,56	
9,00									3,18	3,43	3,66	
10,00									3,23	3,48	3,74	
∞	0,71	0,93	1,14	1,53	1,89	2,24	2,58	2,91	3,24	3,56	3,88	

vervolg tabel 4.1.1.

$L =$	50	60	70	80	90	100	150	200	250	m
D										
0,5	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	
1	0,96	0,96	0,97	0,97	0,98	0,98	0,99	0,99	0,99	
2	1,72	1,77	1,80	1,82	1,83	1,85	1,90	1,92	1,94	
3	2,29	2,39	2,46	2,52	2,56	2,60	2,72	2,79	2,83	
4	2,71	2,86	2,98	3,08	3,16	3,24	3,46	3,58	3,66	
5	3,02	3,24	3,41	3,55	3,67	3,78	4,12	4,31	4,43	
6	3,26	3,52	3,74	3,93	4,08	4,23	4,70	4,97	5,15	
7	3,43	3,76	4,03	4,23	4,42	4,62	5,22	5,57	5,81	
8	3,56	3,93	4,25	4,49	4,72	4,95	5,68	6,13	6,43	
9	3,66	4,07	4,42	4,70	4,95	5,23	6,09	6,63	7,00	
10	3,74	4,18	4,57	4,89	5,18	5,47	6,45	7,09	7,53	
12,5	3,82	4,35	4,81	5,20	5,56	5,92	7,20	8,06	8,68	
15		4,43	4,95	5,40	5,80	6,25	7,77	8,84	9,64	
17,5			5,05	5,53	5,99	6,44	8,20	9,47	10,4	
20				5,62	6,12	6,60	8,54	9,97	11,1	
25				5,74	6,20	6,79	8,99	10,7	12,1	
30							9,27	11,3	12,9	
35							9,44	11,6	13,4	
40								11,8	13,8	
45								12,0	13,8	
50								12,1	14,3	
60									14,6	
∞	3,88	4,50	5,08	5,76	6,26	6,82	9,55	12,2	14,7	

Omdat de waarde van d afhangt van L kan deze niet op voorhand worden bepaald. Bij de berekening van de drainafstand, wordt daarom eerst een schatting van L gemaakt en vervolgens d bepaald.

Door herhaalde berekeningen wordt de schatting van L verbeterd (iteratieve berekening).

Berekeningsvoorbeeld:

$q = 0,007 \text{ m} \cdot \text{d}^{-1} \quad D = 5 \text{ m}$
 $k_1 = 0,8 \text{ m} \quad m = 0,6 \text{ m}$
 $k_2 = 0,4 \text{ m} \quad r = 0,1 \text{ m}$

$$L^2 = \frac{8 k_2 d m + 4 k_1 m^2}{q} = 274 d + 165$$

a. Schat $L = 20 \text{ m}$, lees af uit tabel 4.1.1: $d = 1,88$. Dan geldt

$$L = \sqrt{274 \cdot 1,88 + 165} = 26 \text{ m, dus } d \text{ past niet bij } L.$$

b. Schat $L = 30 \text{ m}$, lees af uit tabel 4.1.1: $d = 2,38$. Dan geldt

$$L = \sqrt{274 \cdot 2,38 + 165} = 28,5 \text{ m, dus de schatting van } L \text{ is te hoog.}$$

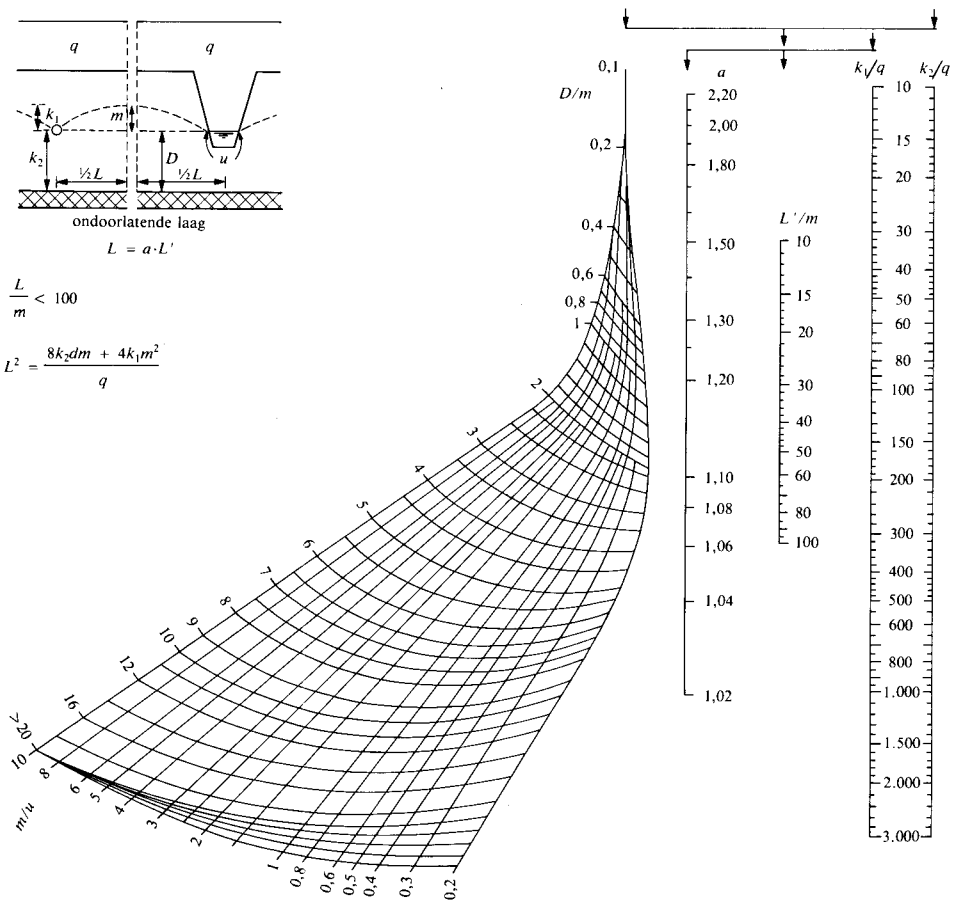
c. Schat $L = 28$ m, interpoleer in tabel 4.1.1: $d = 2,29$. Dan geldt

$$L = \sqrt{274 \cdot 2,29 + 165} = 28 \text{ m, waarbij } L \text{ en } d \text{ bij elkaar passen.}$$

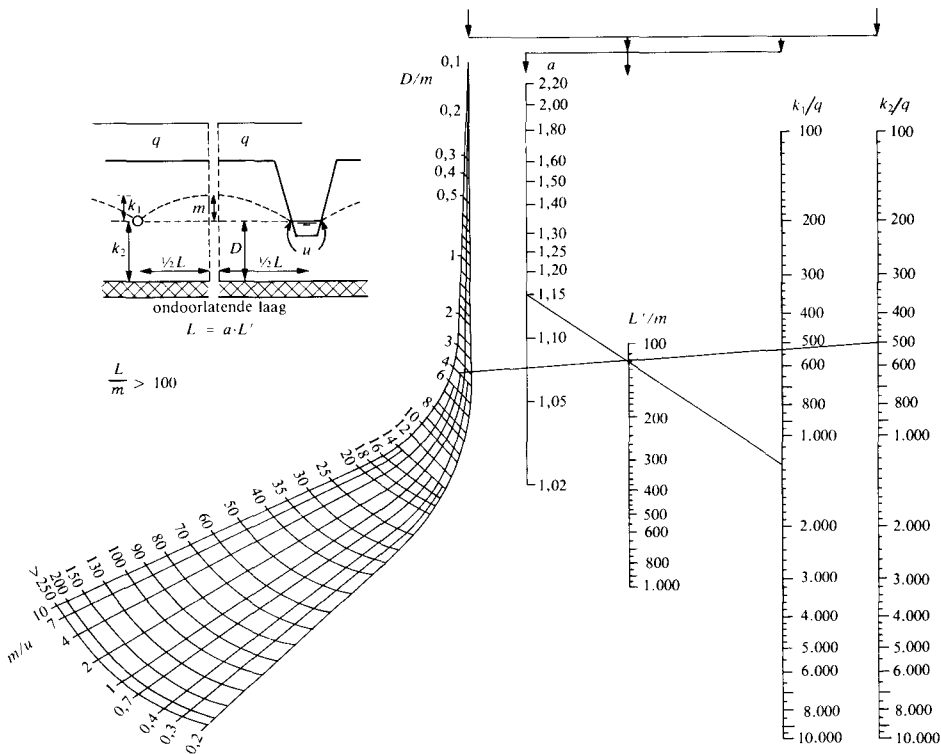
De gevraagde drainafstand is dus 28 m.

NOMOGRAMMEN

De toepassing van de formule van Hooghoudt kan worden vereenvoudigd door gebruik te maken van de nomogrammen van *Boumans* (1963). Er zijn twee nomogrammen, één voor waarden van $L/m < 100$ (figuur 4.1.7) en één voor $L/m > 100$ (figuur 4.1.8).



Figuur 4.1.7. Nomogram voor een heterogeen profiel: $L/m < 100$ (Boumans, 1963).



Figuur 4.1.8. Nomogram voor een heterogeen profiel; $L/m > 100$ (Boumans).

Voor hetzelfde voorbeeld als hiervoor werkt dit als volgt:

- zoek het snijpunt met $\frac{D}{m} = \frac{5}{0,6} = 8,3$ en $\frac{m}{u} = \frac{0,6}{\pi r} = \frac{0,6}{0,314} = 1,9$
- verbindt dit punt met $\frac{k_2}{q} = \frac{0,4}{0,007} = 57$ en lees af $\frac{L'}{m} = 38$
- verbindt het punt $\frac{L'}{m} = 38$ met $\frac{k_1}{q} = \frac{0,8}{0,007} = 114$ en lees af $a = 1,15$
- er geldt dan $L = a \cdot L' = a \cdot \frac{L'}{m} \cdot m = 1,15 \cdot 38 \cdot 0,6 = 26$ m.

Formule van Ernst

Voor toepassing van de formule van Hooghoudt op situaties waarin de scheiding van lagen niet samenvalt met de draindiepte, moet voor de onder- en bovenlaag een gemiddelde doorlaatfactor worden ingevoerd. Aangezien dit in sommige gevallen kan leiden tot grote afwijkingen van de werkelijkheid, kan beter de formule van *Ernst* (1954) worden toegepast. Deze formule is geschikt voor het berekenen van sloot- en drainafstanden voor homogene en 2-lagen profielen, waarbij de laagscheiding niet hoeft samen te vallen met de draindiepte. In de formule wordt naast horizontale en radiale weerstand ook verticale weerstand in rekening gebracht.

De algemene formule luidt:

$$m = h_v + h_h + h_r = q \frac{D_v}{k_v} + \frac{qL^2}{8 \Sigma (kD)_h} - \frac{qL}{\pi k_r} \ln \frac{\alpha D_r}{u} \quad (4.1.14)$$

waarin:

m	=	opbolling	(m)
h_v, h_h, h_r	=	drukhoogte nodig voor respectievelijk verticale, horizontale en radiale stroming	(m)
q	=	specifieke afvoer	(m · d ⁻¹)
D_v, D_r	=	laagdikten waarover resp. verticale en radiale weerstand wordt berekend	(m)
$\Sigma (kD)_h$	=	doorlaatvermogen van de lagen waarover horizontale weerstand wordt berekend	(m ² · d ⁻¹)
k_v, k_r	=	doorlaatfactoren voor de lagen met resp. verticale en radiale stroming	(m · d ⁻¹)
u	=	natte omtrek van drain of sloot	(m)
α	=	geometriefactor	-

Bij toepassing van de formule zijn 3 gevallen te onderscheiden:

- homogene profielen;
- profielen met een laagscheiding boven draindiepte;
- profielen met een laagscheiding beneden draindiepte.

In de figuren 4.1.9, 4.1.10 en 4.1.11 is aangegeven hoe D_v , $\Sigma (kD)_h$ en D_r moeten worden bepaald en wat de waarde van α is.

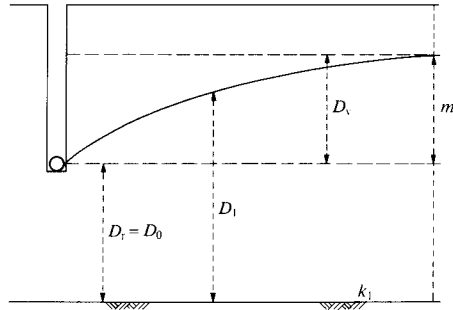
Voor het geval *c* hangt de waarde van α mede af van de verhouding tussen k_1 en k_2 en zal deze waarde moeten worden bepaald met behulp van figuur 4.1.12.

Voor $k_2 < 0,1 k_1$ kan de onderste laag als ondoorlatend worden beschouwd, zodat met een homogeen profiel kan worden gerekend.

Voor de berekening van de laagdikten voor zowel horizontale als radiale stroming geldt dat deze niet onbeperkt groot mogen worden genomen. Voor de laagdikte beneden draindiepte mogen geen waarden van $D > \frac{1}{4}L$ worden genomen. In de praktijk blijkt dat dezelfde drainafstanden worden gevonden voor $\frac{1}{4}L < D < \frac{1}{2}L$. Buiten deze grenzen worden echter te kleine drainafstanden berekend.

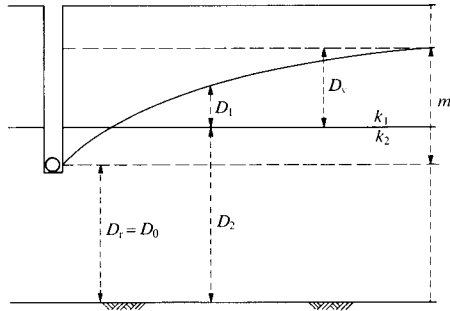
Figuur 4.1.9. *Homogeen profiel.*

$$\begin{aligned} D_1 &= D_0 + 0,5 \cdot m \\ \Sigma(kD)_h &= k_1 D_1 \quad \alpha = 1 \\ D_0 &< \frac{1}{4}L \end{aligned}$$



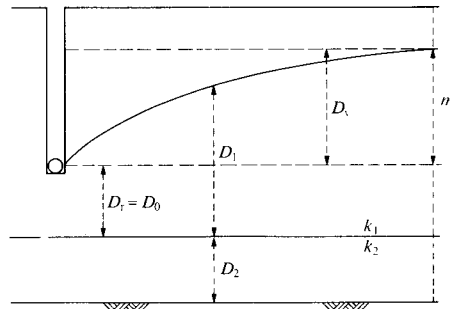
Figuur 4.1.10. *Laagscheiding boven draindiepte.*

$$\begin{aligned} D_1 &= 0,5 \cdot D_v \\ \Sigma(kD)_h &= k_1 D_1 + k_2 D_2 \\ \alpha &= 1 \\ D_0 &< \frac{1}{4}L \end{aligned}$$



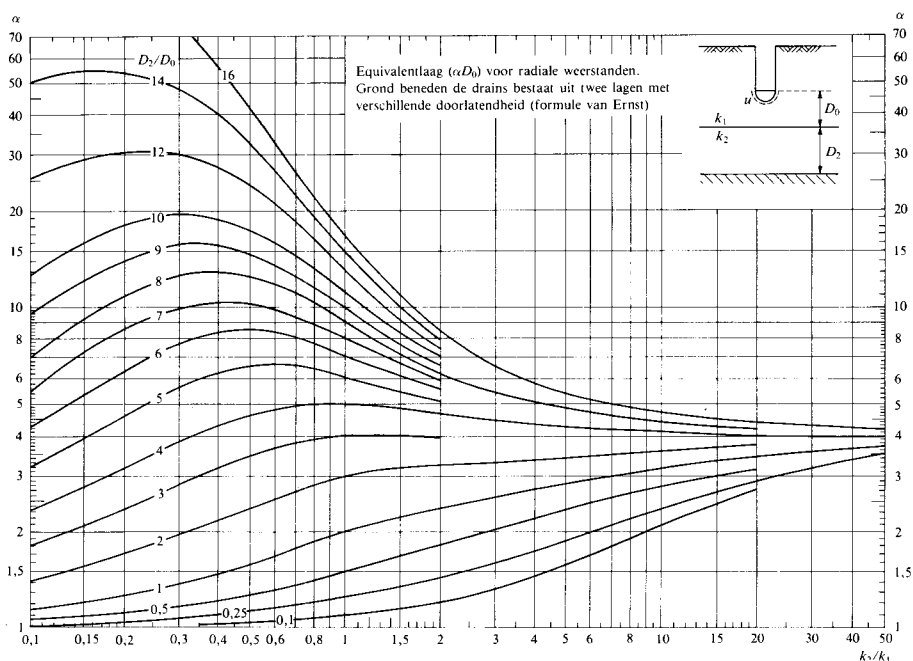
Figuur 4.1.11. *Laagscheiding beneden draindiepte.*

$$\begin{aligned} D_1 &= D_0 + 0,5 \cdot m \\ \Sigma(kD)_h &= k_1 D_1 + k_2 D_2 \\ D_2 + D_0 &< \frac{1}{4}L \\ \text{Voor } \alpha &\text{ geldt:} \\ k_2 > 20 k_1 &\rightarrow \alpha = 4 \\ 0,1 k_1 < K_2 < 20 k_1 &\rightarrow \alpha \\ \text{bepalen m.b.v. figuur 4.1.12} \\ k_2 < 0,1 k_1 &\rightarrow \alpha = 1, \\ &\text{beschouwen als} \\ &\text{homogeen profiel} \end{aligned}$$



Verdere opmerkingen bij toepassing:

- De verticale weerstand is meestal klein en wordt daarom vaak verwaarloosd bij homogene profielen en gevallen waarbij k_1 relatief groot is.
- Voor de waarde van u gelden dezelfde opmerkingen als bij de formule van Hooghoudt. Voor drainage wordt meestal $u = 0,30$ m genomen.
- Voor de berekening van slootafstanden dienen alle maten ten opzichte van het slootwaterpeil te worden genomen in plaats van draindiepte, behalve D_v , die ten opzichte van de slootbodem moet worden genomen.



Figuur 4.1.12. Diagram voor de berekening van de factor α van de radiale weerstand (Ernst).

WIJZE VAN BEREKENING

Bij toepassing van de formule van Ernst dient eerst nagegaan te worden welke van de 3 gevallen van toepassing is. Vervolgens worden de in de betreffende figuur aangegeven laagdikten in de algemene formule ingevuld, evenals de andere gegeven waarden. Na vereenvoudiging ontstaat er een vierkantsvergelijking van de vorm:

$$aL^2 + bL + c = 0 \quad (4.1.15)$$

$$\text{De oplossing voor } L \text{ volgt dan uit: } L = \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \quad (4.1.16)$$

Ten slotte moet nog worden gecontroleerd of de laagdikten voor horizontale en radiale stroming niet te groot zijn genomen.

Voor de drainafstand berekening kunnen ook nomogrammen worden gebruikt (Van Beers, 1965). Omdat er geen iteratieve berekening nodig is, kan de berekening ook eenvoudig met een zakrekenmachine worden gedaan.

Berekeningsvoorbeelden:

a. Homogeen profiel (zie figuur 4.1.9)

$$\begin{aligned} q &= 0,005 \text{ m} \cdot \text{d}^{-1} & D_0 &= 3 \text{ m} \\ m &= 0,60 \text{ m} & u &= 0,75 \text{ m} \\ k_1 &= 0,5 \text{ m} \cdot \text{d}^{-1} \end{aligned}$$

Berekening

$$\Sigma (kD)_h = k_1 D_1 = 0,5 \cdot (3 + 0,5 \cdot 0,6) = 1,65$$

$$\frac{m}{q} = \frac{D_v}{k_v} + \frac{L^2}{8 k_1 D_1} + \frac{L}{\pi k_r} \ln \frac{\alpha D_r}{u}$$

$$\frac{0,6}{0,005} = \frac{0,6}{0,5} + \frac{L^2}{8 \cdot 1,65} + \frac{L}{\pi \cdot 0,5} \ln \frac{3}{0,75}$$

$$120 = 1,2 + 0,076 L^2 + 0,88 L$$

$$0,076 L^2 + 0,88 L - 118,8 = 0$$

$$L = \frac{-0,88 + \sqrt{0,88^2 + 4 \cdot 0,076 \cdot 118,8}}{2 \cdot 0,076} = 34 \text{ m}$$

Controle: $D_0 = 3 (< \frac{1}{4}L)$

b. laagscheiding boven draindiepte (figuur 4.1.10)

$$\begin{aligned} q &= 0,007 \text{ m} \cdot \text{d}^{-1} & D_v &= 0,40 \text{ m} \\ m &= 0,70 \text{ m} & D_1 &= 0,5 \cdot D_v = 0,20 \text{ m} \\ k_1 &= 0,5 \text{ m} \cdot \text{d}^{-1} & D_0 &= 5 \text{ m} \\ k_2 &= 2,0 \text{ m} \cdot \text{d}^{-1} & u &= 0,3 \text{ m} \end{aligned}$$

Berekening:

$$\Sigma (kD)_h = k_1 D_1 + k_2 D_2 = 0,5 \cdot 0,2 + 2,0 \cdot (5 + 0,3) = 10,7 \text{ m}$$

$$\frac{m}{q} = \frac{D_v}{k_v} + \frac{L^2}{8 (k_1 D_1 + k_2 D_2)} + \frac{L}{\pi k_r} \ln \frac{\alpha D_r}{u}$$

$$\frac{0,70}{0,007} = \frac{0,4}{0,5} + \frac{L^2}{8 \cdot 10,7} + \frac{L}{\pi \cdot 2,0} \ln \frac{5}{0,3}$$

$$100 = 0,8 + 0,0117 L^2 + 0,45 L$$

$$0,0117 L^2 + 0,45 L - 99,2 = 0$$

$$L = \frac{-0,45 + \sqrt{0,45^2 + 4 \cdot 0,0117 \cdot 99,2}}{2 \cdot 0,0117} = 75 \text{ m}$$

Controle: $D_0 = 5 \text{ m} (< \frac{1}{4}L)$

c. laagscheiding beneden draindiepte (figuur 4.1.11)

$$\begin{aligned} q &= 0,007 \text{ m} \cdot \text{d}^{-1} & D_0 &= 1,0 \text{ m} \\ m &= 0,70 \text{ m} & D_2 &= 4,0 \text{ m} \\ k_1 &= 0,5 \text{ m} \cdot \text{d}^{-1} & u &= 0,3 \text{ m} \\ k_2 &= 2,0 \text{ m} \cdot \text{d}^{-1} \end{aligned}$$

Berekening:

$$\Sigma (kD)_h = k_1 D_1 + k_2 D_2 = 0,5 \cdot (1,0 + 0,5 \cdot 0,7) + 2,0 \cdot 4,0 = 8,68$$

En geldt: $0,1k_1 < k_2 < 20k_1$. In figuur 4.1.12 vindt men voor $k_2 \cdot k_1^{-1} = 4$ en $D_2/D_0 = 4$ de waarde $\alpha = 4,3$.

$$\frac{m}{q} = \frac{D_v}{k_v} + \frac{L^2}{8(k_1 D_1 + k_2 D_2)} + \frac{L}{\pi k_r} \ln \frac{\alpha D_r}{u}$$

$$\frac{0,70}{0,007} = \frac{0,7}{0,5} + \frac{L^2}{8 \cdot 8,86} + \frac{L}{\pi \cdot 0,5} \ln \frac{4,3 \cdot 1}{0,3}$$

$$100 = 1,4 + 0,014 L^2 + 1,70 L$$

$$0,0144 L^2 + 1,70 L - 98,6 = 0$$

$$L = \frac{-1,70 + \sqrt{1,70^2 + 4 \cdot 0,014 \cdot 98,6}}{2 \cdot 0,014} = 43 \text{ m}$$

Formules voor niet-stationaire stroming

De afvoer van overtollige neerslag naar de ontwateringsmiddelen is in werkelijkheid geen stationair proces. Door de variatie in de neerslag met de tijd, veranderen de afvoer en de grondwaterstand eveneens met de tijd. De stationaire methoden geven daarom geen inzicht in de werkelijk optredende afvoeren van grondwaterstanden. Hiervoor is het noodzakelijk gebruik te maken van quasi-stationaire of niet-stationaire berekeningsmethoden. Deze methoden worden meestal niet gebruikt voor ontwerpdoeleinden, maar wel om metingen van drainafvoeren en grondwaterstanden te interpreteren en om overschrijdingsfrequenties van de grondwaterstand te berekenen.

Formule van Glover-Dumm

Deze formule is toepasbaar voor het bepalen van de snelheid waarmee de grondwaterstand daalt in een droge periode, na een voorafgaande natte periode. Als benaderingsformule voor waarden van $\alpha t > 0,2$ geldt:

$$m_t = 1,16 m_0 \cdot e^{-\alpha t} \quad \text{met } \alpha = \frac{\pi^2 k d}{\mu L^2} \quad (4.1.17)$$

waarin:

$$\begin{aligned} m_0 &= \text{opbolling op } t = 0 & (\text{m}) \\ m_t &= \text{opbolling na } t \text{ dagen} & (\text{m}) \\ \alpha &= \text{reactiefactor} & (\text{d}^{-1}) \end{aligned}$$

k	= doorlaatfactor	(m · d ⁻¹)
d	= dikte van de equivalentlaag volgens Hooghoudt	(m)
μ	= bergingscoëfficiënt	-
L	= drainafstand	(m)

Indien als eis aan het drainagestelsel wordt gesteld dat de grondwaterstand midden tussen de drain in t dagen van m_0 naar m_t moet kunnen dalen in een droge periode, kan de drainafstand worden berekend uit:

$$L = \pi \left(\frac{kdt}{\mu} \right)^{1/2} \cdot \left(\ln 1,16 \frac{m_0}{m_t} \right)^{1/2} \quad (4.1.18)$$

Formule Krayenhoff van de Leur - Maasland

Zowel *Krayenhoff van de Leur* (1958) als *Maasland* (1959) hebben oplossingen gegeven voor niet-stationaire stroming naar drains en sloten. De oplossingen zijn toepasbaar voor homogene profielen met de grondwaterstroming overwegend beneden drainniveau (opbolling evenredig aan de afvoer in stationaire situatie). In de eenvoudigste vorm zijn deze oplossingen:

$$m_t = \frac{4R}{\pi\mu} j \sum_{n=1, -3, 5, -7, \dots}^{\infty} (1 - e^{-n^2 t/j}) \cdot n^{-3} \quad (4.1.19)$$

$$q_t = \frac{8R}{\pi^2} \sum_{n=1, 3, 5, \dots}^{\infty} (1 - e^{-n^2 t/j}) \cdot n^{-2} \quad (4.1.20)$$

waarin:

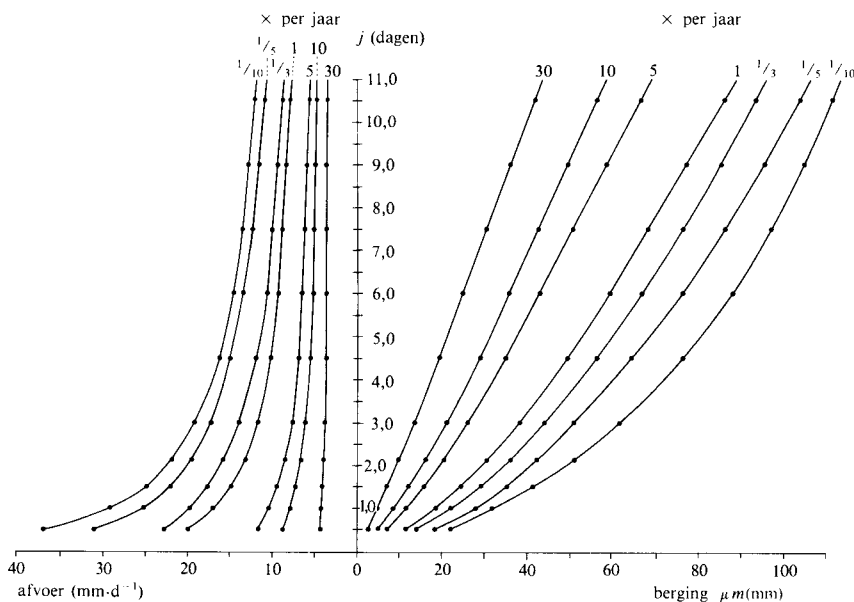
m_t	= opbolling op tijdstip t	(m)
R	= neerslagintensiteit	(m · d ⁻¹)
j	= α^{-1} reservoircoëfficiënt	(d)
t	= tijd	(d)
q_t	= specifieke afvoer op tijdstip t	(m · d ⁻¹)
μ	= bergingscoëfficiënt	-

De oplossingen gelden voor een periode met een continue, constante neerslagintensiteit en een beginsituatie zonder afvoer en een grondwaterstand op draindiepte.

Om een werkelijk grondwaterstands- en afvoerloop te kunnen berekenen, wordt de rekenperiode verdeeld in tijdstappen (bijvoorbeeld 1 dag) met een bepaalde constante neerslagintensiteit voor elke tijdstap.

De berekening van de grondwaterstand of afvoer op een bepaald moment wordt verkregen door sommering van de bijdragen van de neerslag op alle voorafgaande dagen aan de grondwaterstand of afvoer (superpositie). Vanwege het vele rekenwerk is de methode alleen goed toepasbaar met hulp van een zakrekenmachine of een computer.

Door *De Jager* (1965) zijn voor verschillende waarden van j en μ de grondwaterstand en afvoeren berekend voor de in de winterperioden 1913 tot 1963 in De Bilt waargenomen neerslag. Op de verkregen berekeningsresultaten is een frequentie-analyse toegepast, waarvan het resultaat is weergegeven in figuur 4.1.13. Met deze figuur is het mogelijk voor een gegeven drainagesysteem aan te geven welke grondwaterstanden en afvoeren zullen worden bereikt of overschreden met een bepaalde frequentie (zie ook par. III. 4.1.4 Ontwateringsnormen).



Figuur 4.1.13. Frequentie-diagram voor de afvoer en de hoogte van de berging midden tussen de drain μ m berekend voor verschillende j -waarden uit de dagsommen van de neerslag te Utrecht in de maanden oktober t/m maart over de jaren 1913 tot 1963.

Voorbeeld:

Voor een drainagesysteem met $j = 3$ d en $\mu = 0,05$, wordt gevraagd welke grondwaterstanden met een frequentie van $5 \times$ per jaar, $1 \times$ per jaar en $1 \times$ per 5 jaar zullen worden bereikt of overschreden.

Uit figuur 4.1.13 volgt voor $j = 3$ d resp. $\mu = 25, 38$ en 50 mm. De gevraagde grondwaterstanden zijn dan resp. $0,50, 0,76$ en $1,0$ m boven draindiepte.

Bepaling drainafstanden op basis van profielkenmerken

In de praktijk is het niet altijd goed mogelijk op basis van bodemfysische gegevens als doorlaatfactor en diepte van de ondoorlatende laag en berekeningen met de formule van Hooghoudt of Ernst tot een juiste drainafstand te komen. Te denken valt bijvoorbeeld aan sterk heterogene gebieden en aan gevallen waarin de doorlaatfactor met de tijd verandert. Dit is bijvoorbeeld het geval met gronden die ten gevolge van rijping gaan scheuren (IJsselmeerpolders) of zwellende en krimpende kleigronden (komklei).

Ook komt het voor dat na drainage-aanleg een verbetering van de doorlatendheid optreedt bijvoorbeeld door aëratie en structuurvorming, diepere beworteling of verhoogde wormenactiviteit. Een verslechtering van de doorlatendheid is eveneens denkbaar bijvoorbeeld bij ontziltende gronden (Lauwerszee).

In deze gevallen wordt de drainafstand dikwijls op basis van gebiedskennis en ervaring vastgesteld. Hierbij is het van groot belang dat achteraf wordt geverifieerd of het advies juist is geweest. Dit is nodig om de kennis en ervaring zonodig bij te stellen. Ook wordt wel gebruik gemaakt van proefveldgegevens.

Ook voor gevallen waarin de drainafstand op conventionele wijze berekend kan worden, komt het dikwijls voor dat de drainafstand op basis van kennis en ervaring wordt geschat. Hierbij is de visuele beoordeling van de grond en met name de structuurvorming van groot belang. Algemene richtlijnen voor deze empirische methoden zijn moeilijk te geven; ze zijn sterk gebonden aan regionale, specifieke kennis van de bodemgesteldheid.

4.1.4. Ontwateringsnormen

Op basis van de relatie tussen de grondwaterstanden en opbrengsten dienen, afhankelijk van grondsoort en grondgebruik, ontwateringsnormen opgesteld te worden. Het onderzoek naar deze relatie, waarbij ook factoren als bewerkbaarheid van de bodem en het weer een rol spelen, is nog geenszins afgerond. Vooralsnog moet van empirisch vastgestelde normen worden uitgegaan.

Voor een goede ontwatering is het niet alleen van belang dat hoge grondwaterstanden worden voorkomen, maar moeten ook de grondwaterstandsfluctuaties in zekere mate worden beheerst. Daarnaast is de ontwateringsbasis of draindiepte ook van belang voor het vochtleverend vermogen van de grond in het groeiseizoen.

Normen voor stationaire afvoer

Bij het drainage-ontwerp wordt meestal gebruik gemaakt van stationaire stromingsformules. De hierbij toegepaste normen gaan uit van een hoogste grondwaterstandsdiepte, die mag optreden bij een bepaalde afvoerintensiteit. *Hooghoudt* (1940) formuleerde voor bouwland het volgende criterium: bij een stationaire afvoer van $7 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$ (oorspronkelijk $5 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$) mag de grondwaterstandsdiepte 0,50 m zijn.

Op basis van ervaring zijn in de loop van de tijd diverse criteria tot stand gekomen. Een aantal daarvan zijn in tabel 4.1.2 opgenomen.

Ontwateringsbasis

De ontwateringsbasis is het niveau tot waartoe de grondwaterstand kan dalen onder invloed van de ontwateringsmiddelen. Bij niet gedraineerde gronden is het slootpeil de ontwateringsbasis. Bij gedraineerde gronden zonder kwel of wegzijging is de ontwateringsbasis gelijk aan de draindiepte. De stroming naar de sloten is in vergelijking met die naar de drains veel geringer, zodat beneden drainniveau de grondwaterstand veel langzamer uitzakt.

Tabel 4.1.2. In de praktijk toegepaste ontwateringsnormen voor verschillende soorten grondgebruik.

Grondgebruik	Afvoer in $\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$	Grondwaterstand- diepte in m*
grasland	7 (10)	0,30 (0,20)
bouwland	7 (10)	0,50 (0,30)
vollegrondstuinbouw	7 (10)	0,50 (0,30)
bloembollen op klei	7	0,50
bloembollen op zand	10	0,30
fruitteelt	7 (10)	0,70 (0,60)
bos	5-7	0,50-0,30
militair oefenterrein	7	0,70
sportvelden, kampeerterreinen, speel- en ligweiden	15	0,50
bouwtterreinen	10	0,50
woongebieden (50% verhard)	5	0,70
industrie terreinen	7	0,50

* De waarden tussen haakjes worden door de R.I.J.P. gehanteerd.

In vlugschrift voor de Landbouw nr. 361 "Aanleg en onderhoud van Drainage" (*Ministerie van Landbouw en Visserij*, 1988) worden normen voor de optimale draindiepte gegeven.

De optimale draindiepte is in eerste instantie afhankelijk van het bodemgebruik en de profielopbouw. Zo geldt voor **grasland** dat uitsluitend wordt beweide of gemaaid, een optimale draindiepte van 80 cm – mv ongeacht de grondsoort. Deze richtlijn geldt ook voor stedelijke bebouwing en extensief gebruikte sport- en recreatievelden. Voor akker- en tuinbouw, glas- en opengrondsteelt, fruitteelt, intensief gebruikte sportvelden en grasland dat tevens voor snijmaïsteelt wordt gebruikt, geldt tabel 4.1.3.

Met nadruk wordt erop gewezen dat wordt uitgegaan van **horizontale** drainligging zodat met de genoemde optimale draindiepte de sleufbodemdiepte wordt bedoeld.

Indien er kunstmatige beregening of infiltratie plaatsvindt, moeten de genoemde optimale draindiepten worden gelezen als minimale draindiepten. Het verdrogingsrisico weegt dan minder zwaar, waardoor eventueel dieper kan worden gedraineerd.

Tabel 4.1.3. Optimale draindiepte voor akker- en tuinbouw en sportvelden (sleufbodemdiepte in cm – mv). Bij kunstmatige beregening: minder draindiepte.

	BOVENGROND*				
	moerig	zand + löss	lichte zavel	zware zavel	klei
ONDERGROND:					
Moerig (veen)	95	95	100	95	90
Leemarm zand	85	85	80	80	80
Zwak lemig zand	90	90	105	90	90
Sterk lemig zand/löss	100	100	110	100	100
Lichte zavel	100	100	120	110	110
Zware zavel	100	100	115	105	115
Klei	100	100	110	105	120

* De bovengrond is gedefinieerd als de eerste 35 cm beneden maaiveld

De waarden in tabel 4.1.3 moeten worden gelezen als richtwaarden. Ze gelden indien de doorlatendheid op deze diepte redelijk tot goed is. Indien de drains bij de aangegeven diepte in een slechtdoorlatende laag komen te liggen, moet er van de "optimale" draindiepte worden afgeweken. De voorkeur gaat daarbij in principe uit naar draineren direct onder deze laag. De ervaring leert dat de doorlatendheid ervan na drainage veelal verbetert.

In de IJsselmeerpolders worden de volgende minimale draindiepten **bij de uitmonding** gehanteerd:

fruit- en boomteelt	1,30 m –mv.
akkerbouw en tuinbouw	1,10 m –mv.
weidebouw, bos, recreatie	1,00 m –mv.

Omdat de reeksen in totaal 0,10 m verhang krijgen, is de minimale **gemiddelde** draindiepte 0,05 m minder.

De draindiepte wordt mede bepaald door:

- het slootpeil in verband met controle en vrije lozing;
- de bodemopbouw voor wat betreft de doorlatendheid;
- het vochthoudend vermogen van de grond;
- de eisen die aan de bewerkbaarheid en zaaidatum worden gesteld.

Ontwerp op basis van frequenties

De normen die gegeven zijn voor stationaire afvoer, geven geen inzicht in de werkelijk te verwachten grondwaterstanden en afvoeren en dus ook niet in de frequentie waarmee de ontwerpnorm zal worden overschreden.

Gebleden is dat het niet-stationaire gedrag van de afvoer en de grondwaterstand kan worden gekarakteriseerd door de reservoircoëfficiënt *j* (*Krayenhoff van de Leur*, 1958).

Deze coëfficiënt kan voor een parallel drainagesysteem worden gedefinieerd als:

$$j = \frac{\mu L^2}{\pi^2 k D} \quad (4.1.21)$$

waarin:

μ	= bergingscoëfficiënt	(-)
L	= drain- of slootafstand	(m)
kD	= doorlaatvermogen	(m ² · d ⁻¹)

Door *De Jager* (1965) zijn voor verschillende *j*-waarden de frequenties van afvoeren en grondwaterstanden berekend op grond van de in De Bilt gemeten dagneerslagen over de winterhalfjaren van 1913 t/m 1962. Volgens *Wesseling* (1969) kan het verband tussen *j*-waarden, grondwaterstand en overschrijdingsfrequentie worden weergegeven door:

$$j = a (\mu \cdot m)^b \quad (4.1.22)$$

waarin m de hoogte van de opbolling is en a en b coëfficiënten zijn, die afhangen van de overschrijdingsfrequentie.

frequentie	0,1	0,2	0,33	1	5	10	15	30 × per jaar
a	515	552	502	529	482	470	423	370
b	1,82	1,76	1,64	1,58	1,40	1,31	1,21	1,12

Gebruikmakend van de eenvoudigste stationaire formule van Hooghoudt (stroming voor-
namelijk beneden drainniveau):

$$\frac{q}{m} = \frac{8kD}{L^2}$$

kan de j -waarde worden vervangen door het stationaire criterium $q \cdot m^{-1}$, hetgeen oplevert:

$$\frac{q}{m} = \frac{8}{\pi^2} \cdot \frac{1}{a} \cdot \pi^{1-b} \cdot m^{-b} \tag{4.1.23}$$

Deze vergelijking geeft de relatie weer tussen het drainagecriterium, de bergingscoëfficiënt en de hoogst toelaatbare opbolling bij een bepaalde overschrijdingsfrequentie. Hierdoor is het mogelijk om het drainagecriterium te baseren op een met een gegeven frequentie te overschrijden grondwaterstandsdiepte.

Enkele voorbeelden en toepassingen

Het drainagecriterium voor bouwland is een afvoer van $7 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$ bij een grondwaterstandsdiepte van 0,5 m. Stel dat de draindiepte 1,0 m –mv bedraagt en dat de bergingscoëfficiënt $\mu = 0,05$. Het drainagecriterium $q \cdot m^{-1} = 0,007 \cdot 0,5^{-1} = 0,014$.

Bij invulling in vergelijking 4.1.23 kan voor verschillende overschrijdingsfrequenties de bijbehorende opbolling en afvoer worden berekend (tabel 4.1.4).

Tabel 4.1.4. Te verwachten afvoeren en grondwaterstanden voor verschillende overschrijdingsfrequenties bij een drainagecriterium voor bouwland (afvoer $7 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$ bij een grondwaterstand van 0,50 m –mv).

Overschrijdingsfrequentie	Afvoer $\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$	Grondwaterstands- diepte in m –mv
0,2 × per jaar	14,1	0
0,33 × per jaar	12,0	0,14
1 × per jaar	10,4	0,26
5 × per jaar	7,3	0,48
10 × per jaar	5,8	0,59
15 × per jaar	4,6	0,67
30 × per jaar	3,7	0,74

Voor het gegeven voorbeeld blijkt dat het drainagecriterium circa $6 \times$ per jaar wordt bereikt of overschreden. De invloed van de draindiepte en de bergingscoëfficiënt op deze overschrijding is in tabel 4.1.5 geïllustreerd.

Tabel 4.1.5. De invloed van de draindiepte en de bergingscoëfficiënt op de overschrijdingsfrequentie van het drainagecriterium (afvoer $7 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$ bij een grondwaterstand van $0,50 \text{ m -mv}$).

Draindiepte m -mv	Bergings coëfficiënt	Overschrijdings- frequentie (dagen · jaar ⁻¹)
1,2	0,09	2
1,0	0,09	3
1,0	0,05	6
1,0	0,03	9
0,8	0,03	11

Hieruit blijkt dat de toepassing van eenzelfde drainagecriterium bij andere bergingscoëfficiënten en draindiepten tot andere ontwateringssituaties leidt. Uitspraken over de "zwaarte" van een drainagecriterium dienen dan ook steeds in dit licht te worden gezien. Naarmate de draindiepte en de bergingsmogelijkheden in de grond geringer zijn, zal een bepaalde grondwaterstandsdiepte vaker worden bereikt of overschreden.

Met vergelijking 4.1.23 is het ook mogelijk voor een gegeven bergingscoëfficiënt, draindiepte en een met een gekozen frequentie te overschrijden grondwaterstandsdiepte, het drainagecriterium te bepalen. Dit leidt tot meer uniformiteit in de zwaarte van het drainagecriterium, hoewel de overschrijdingsfrequenties van hogere of lagere grondwaterstanden niet gelijk behoeven te zijn. Indien de draindiepte als variabele wordt genomen, is het mogelijk de draindiepte en het drainagecriterium zodanig te bepalen, dat de overschrijdingsfrequentie van twee verschillende grondwaterstandsdieptes gelijk zijn (*Dekker, 1983*).

4.1.5. Drainage-vooronderzoek

Algemeen

Het drainagevooronderzoek heeft tot doel het onderverdelen van het te draineren gebied in vakken met gelijke drainafstand.

De drainafstand wordt bij de gebruikelijke (stationaire) formules deels bepaald door afgeleide factoren, zoals ontwateringscriterium en draindiepte en deels door bodemkundige factoren zoals doorlatendheid (k) en diepte van de ondoorlatende laag (D). Het drainagevooronderzoek richt zich op het formuleren van homogene vlakken van k - en D -waarden.

De indeling in homogene vlakken

De spreiding in gemeten k -waarden is vaak groot en verandert nauwelijks bij intensivering van het meetnet. De spreiding neemt beduidend af indien het drainagebehoefte gebied kan worden onderverdeeld in hydrologische profieltypen. Voor de indeling in hydrologische profieltypen (met behulp van bodemkaarten) is een bodemkundige kartering tot ten minste $1,50 \text{ m}$ diepte noodzakelijk, waarbij hydrologische profielkenmerken zoals leemgehalte, M 50 cijfer, lutum- en slibfractie, gelaagde profielopbouw en soort veen duidelijk worden opgenomen.

Op basis van een aantal doorlatendheidsmetingen in de onderscheiden lagen, wordt dan een waarde verkregen voor de doorlaatfactor van de onderscheiden profiellagen in elk boorpunt.

Met behulp van de door de StiBoka geleverde codekaart kunnen vlakken worden geformuleerd, die hydrologisch "homogeen" zijn vanwege overeenkomstige profielkenmerken. De gemeten k -waarden moeten gezien worden als hulpmiddel bij de vlakonderscheiding en -begrenzing en als indicatie van de k -waarde.

De D-waarden

Ten aanzien van de diepte van de ondoorlatende laag (D) kan eveneens een vlakindeling worden gemaakt. De bodemkaart geeft hierover echter onvoldoende informatie, zodat meestal een aanvullend boorprogramma nodig is. De boordiepte wordt veelal beperkt tot een diepte van 2,0 m beneden maaiveld. Zonodig kunnen, afhankelijk van de vereiste nauwkeurigheid waarmee de drainafstand moet worden bepaald, aanvullend boringen tot grotere diepte worden gedaan.

Het aantal doorlatendheidsmetingen per vlak

Voor het vaststellen van een representatieve doorlaatfactor per onderscheiden homogeen vlak, is veelal een aantal k -metingen nodig. Hiervoor wordt meestal de boorgatmethode toegepast. De metingen dienen bij voorkeur ruimtelijk gespreid te worden over het vlak waarvan men een gemiddelde waarde wil bepalen. Omdat spreiding in de resultaten veel meer een gevolg is van variatie in profielopbouw (veldvariabiliteit) dan van meetfouten, is het zinvoller het aantal metingen uit te breiden dan om duplometingen te verrichten. Het benodigde aantal k -metingen per homogeen vlak is statistisch te bepalen als de toelaatbare fout en de gewenste betrouwbaarheid van de resultaten is vastgelegd.

Voor het opstellen van de drainagebegroting voor bijvoorbeeld een ruilverkaveling, is een fout in de schatting van de gemiddelde drainafstand van 20% aanvaardbaar, voor het drainageplan zelf is dit 10%.

Het betrouwbaarheidsgebied wordt veelal op 90% gesteld, dat wil zeggen met 90% zekerheid zal de fout kleiner zijn dan resp. 20 en 10%. Een fout in k of D werkt ongeveer voor de helft door in de drainafstand.

Om vooraf het aantal k -metingen te kunnen bepalen, is het nodig de spreiding binnen een hydrologisch profieltype te kennen. Deze spreiding wordt uitgedrukt in de variatiecoëfficiënt, gedefinieerd als:

$$\frac{Sx}{\bar{x}} \cdot 100 \quad (4.1.24)$$

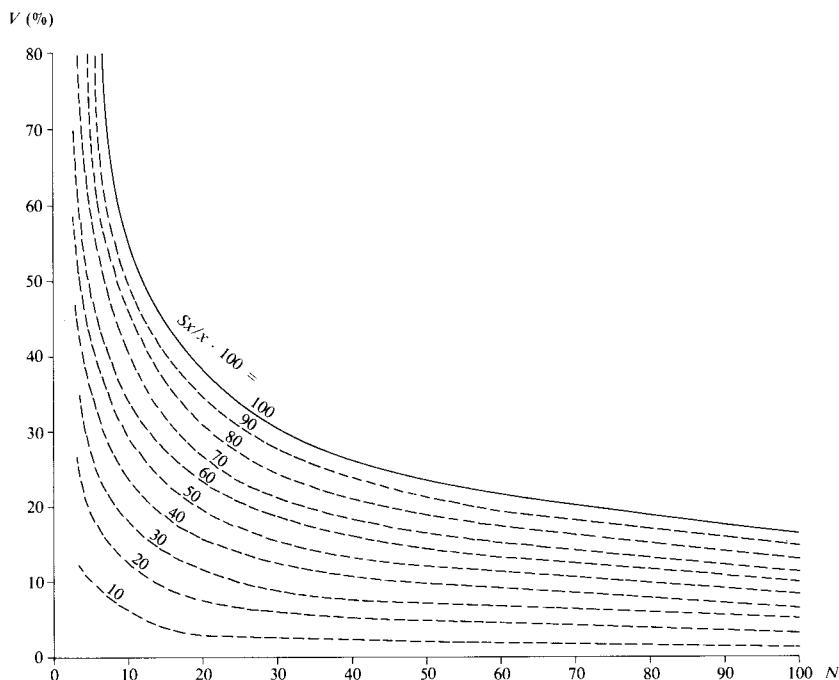
waarin:

Sx = standaardafwijking van k

$\bar{x}$ = rekenkundig gemiddelde van k

De grootte van de variatiecoëfficiënt hangt sterk af van het profieltype en de kwaliteit van de vlakindeling.

Uit k -metingen is voor de grondsoorten zand, zavel en klei deze variatiecoëfficiënt berekend op resp. 25, 40 en 55% (Van Someren, 1958). Deze cijfers zijn gebaseerd op een grove vlakindeling. Door een meer gedetailleerde vlakindeling kan de werkelijke variatiecoëfficiënt lager zijn dan de aangegeven waarden. De variatiecoëfficiënt kan ook geschat worden op grond van een beperkt aantal metingen (ijking vooraf). Het aantal benodigde metingen kan met behulp van figuur 4.1.14 worden afgeleid. De methode is beschreven in Mededelingen 136 (Landinrichtingsdienst, 1981).



Figuur 4.1.14. Relatie minimaal aantal waarnemingen (N) en maximaal toegestane afwijking tussen berekend en werkelijk gemiddelde, uitgedrukt in procenten van de gemiddelde (V) voor verschillende waarden van de standaardafwijking van de enkele waarneming, uitgedrukt in procenten van het gemiddelde ($Sx/x \cdot 100$), bij een onbetrouwbaarheidsgebied van 10%.

Toepassingsvoorbeeld

Stel dat voor de gemiddelde drainafstand een fout van 10% acceptabel is met een betrouwbaarheid van 90%. Indien de diepte van de ondoorlatende laag vast staat, dient de gemiddelde k met een fout kleiner dan 20% te worden bepaald. Als de variatiecoëfficiënt wordt geschat op 50%, volgt uit figuur 4.1.14 voor $V = 20\%$ $N = 20$.

4.1.6. Bepaling draindiameters

De afvoercapaciteit van drainbuizen

Voor de afvoer door drainbuizen wordt veelal uitgegaan van het drainageprincipe. Dit houdt bij volstromende buizen een constante instroming per lengte eenheid buis in (*Wesseling, 1965*).

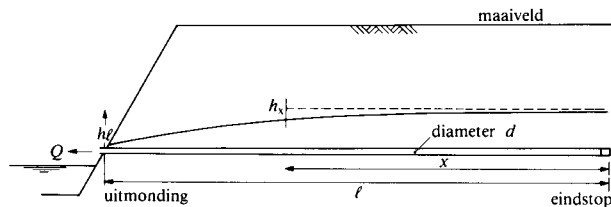
De voor het drainage-ontwerp benodigde afvoercapaciteit van drainbuizen kan berekend worden volgens de vergelijking (*Dekker en Ven, 1982*):

$$h_x = 3,36 \cdot 10^{-5} \cdot a \cdot d^{-4,5} \cdot \left(\frac{Q}{\ell} \right)^{1,5} \cdot x^{2,5} \quad (4.1.25)$$

waarin (zie ook figuur 4.1.15):

h_x	= drukhoogteverlies over een afstand x vanaf de eindstop	(m)
Q	= afvoer bij de uitmonding van de drain	($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)
d	= binnendiameter van de drainbuis	(m)
ℓ	= lengte van de drainreeks	(m)
x	= afstand van de eindstop	(m)
a	= kenmerk van de drainbuis	

Figuur 4.1.15.
Drukhoogteverloop
in een drainreeks.



De waarde van a is afhankelijk van de soort buis en de onderhoudstoestand waarin de buis verkeert.

Voor zorgvuldig gelegde, zeer schone buizen, gelden de volgende minimale a -waarden:

gebakken buizen $a = 4,5$

gladde p.v.c.-buizen $a = 4,7$

geribbelde p.v.c.-buizen $a = 7,0$

Om rekening te houden met minder gunstige veldomstandigheden en omdat in de praktijk altijd enige vervuiling optreedt, moet bij de capaciteitsberekening een reductie worden toegepast.

Voor de gangbare diameters buizen, tussen 40 en 150 mm, kan deze reductiefactor weer-gegeven worden als een toelaatbaar inspoelingslaagje van 10 à 15 mm, voorkomend bij goed onderhouden drains, en worden uitgedrukt in een effectieve diameter (d_e) volgens:

$$d_e = 1,04 \cdot d - 0,008 \qquad \text{waarbij } d_e \text{ en } d \text{ in meters}$$

Rekening houdend met deze reductiefactor kan voor p.v.c.-ribbelbuizen de maximaal te ontwateren oppervlakte met behulp van vergelijking 4.1.25 worden berekend volgens:

$$A = \ell \cdot L = 2,27 \cdot 10^7 \cdot q^{-1} \cdot d_e^3 \left(\frac{h\ell}{\ell} \right)^{2/3} \qquad (4.1.26)$$

waarin:

- A = maximaal te ontwateren oppervlakte (m²)
- q = ontwerpafvoer (m · d⁻¹)
- d_e = effectieve diameter (1,04 · d – 0,008) (m)
- d = inwendige diameter (m)
- $h\ell$ = drukhoogteverlies over de drainlengte ℓ (m)
- L = drainafstand (m)
- ℓ = drainlengte (m)

De keuze van de beschikbare drukhoogte voor de drainbuis

Bij het drainage-ontwerp dient de totaal beschikbare drukhoogte (H) zodanig verdeeld te worden over de componenten voor drukhoogte buis ($h\ell$ in formule 4.1.26) en opbolling tussen de drains (m in formule Hooghoudt), dat de drainagekosten minimaal zijn. Bij handhaving van de bestaande drainagecriteria is een overlapping van 0,10 m toelaatbaar. Het blijkt dat een optimale verdeling van de beschikbare drukhoogte H verkregen wordt als circa 1/3 deel van de totaal beschikbare drukhoogte (+ 0,10 m) wordt benut voor stroming in de drain.

De maximaal te ontwateren oppervlakte

De maximaal te ontwateren oppervlakte voor elke draindiameter berekend met vergelijking 4.1.26 kan in tabel 4.1.6 afgelezen worden:

Tabel 4.1.6. Maximaal te ontwateren oppervlakte (in ha) voor p.v.c.-ribbelbuizen bij een ontwerpafvoer van 7 mm · d⁻¹, verschillende hydraulische hellingen en toepassing van een reductie.

Draindiameter (mm)	$i =$	Maximaal te ontwateren opp. (in ha) bij een gemiddelde hydraulische helling (i)* in cm per 100 m van:									
		4	5	6	8	10	15	20	25	30	40
50/44		0,09	0,11	0,12	0,15	0,18	0,23	0,28	0,32	0,36	0,44
60/54		0,20	0,23	0,26	0,31	0,36	0,48	0,50	0,67	0,75	0,91
65/57		0,24	0,28	0,31	0,38	0,44	0,57	0,69	0,81	0,91	1,10
80/72		0,53	0,61	0,69	0,84	0,97	1,27	1,54	1,79	2,02	2,45
100/92		1,19	1,38	1,56	1,88	2,19	2,87	3,47	4,03	4,55	5,51

* Onder hydraulische helling (i) wordt verstaan $i = \frac{h\ell}{\ell}$, waarbij $h\ell = (H + 0,10)/3$ en H = totaal beschikbare drukhoogte. De drainhelling mag wel kleiner, maar niet groter zijn dan i .

Voor andere ontwerpafvoeren kan de maximaal te ontwateren oppervlakte eenvoudig uit de tabel worden herleid, omdat deze omgekeerd evenredig is met de ontwerpafvoer. Voor bijvoorbeeld een ontwerpafvoer van $5 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$ dienen alle oppervlakten met 7/5 te worden vermenigvuldigd.

Berekeningsvoorbeeld:

- bovenkant drain bij de uitmonding 1,00 m –mv
- drainagecriterium = $10 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$ afvoer bij een grondwaterstandsdiepte van 0,50 m
- drainlengte = 250 m

Bij de berekening van de drainafstand geldt voor M de volgende waarde:

$$M = \frac{2}{3} (0,50 + 0,10) = 0,40 \text{ m}$$

Bij de bepaling van de draindiameter geldt voor h_ℓ de volgende waarde:

$$h_\ell = \frac{1}{3} (0,50 + 0,10) = 0,20 \text{ m}$$

Stel dat de berekende drainafstand 12 m bedraagt. De af te wateren oppervlakte is dan $12 \times 250/10.000 = 0,30$ ha per drain. Voor toepassing van tabel 4.1.6 moeten de daar genoemde oppervlakten met 7/10 worden vermenigvuldigd. Het blijkt dan dat bij een hydraulische helling van $0,20 \text{ m}/250 \text{ m} = 8 \text{ cm}/100 \text{ m}$ de maximaal te ontwateren oppervlakte voor een 65/57 mm p.v.c.-ribbelbuis $7/10 \times 0,38 \text{ ha} = 0,27 \text{ ha}$ bedraagt. De buis 65/57 mm heeft dus een iets te geringe afvoercapaciteit. Er zijn nu verschillende oplossingen mogelijk:

- voor een gedeelte van de reeks wordt de buis 80/72 mm toegepast;
- de drainafstand wordt circa 1 m verkleind;
- er wordt een (geringe) overbelasting geaccepteerd.

De drains dienen onder een helling niet groter dan $8 \text{ cm}/100 \text{ m}$ te worden gelegd.

Toepassing van verschillende diameters in een reeks

Bij lange drainreeksen en grote drainafstanden kan het aanzienlijk kostenbesparend zijn als er meer dan één buisdiameter in een reeks wordt toegepast. De draindiameter neemt dan toe in de richting van de eindbuis. Bij toepassing van meer dan twee diameters zijn er talloze manieren waarop de drainreeks kan worden samengesteld (*Van der Molen, 1960; Cavelaars, 1978*).

De meest flexibele werkwijze is voor de gegeven drainafstand en ontwerpafvoer voor elke toe te passen diameter een grafiek te maken van het drukverlies met de afstand vanaf de eindstop. Bij gebruik van transparante grafieken kunnen op eenvoudige wijze, door de grafieken op elkaar te leggen en ze verticaal ten opzichte van elkaar te verschuiven, oplossingen worden bepaald (*Dekker en Ven, 1982*).

4.1.7. Drainagematerialen

Buissoorten

Voor drainage worden tegenwoordig vrijwel uitsluitend p.v.c.-ribbelbuizen gebruikt.

Tabel 4.1.7. Leverbare buisdiameters.

Uitwendige diameter (mm)	Inwendige diameter (mm)	Rollengte* (m)
50	44	100-200
60	53 of 54*	100-150
65	56 of 57*	100-150
80	72	65-100
100	91 of 92*	100
125	115	75-100
160	148	50
200	182	40

* Afhankelijk van het fabrikaat.

Voor de diameters 50 tot 125 mm zijn keuringseisen vastgelegd in NEN 7036 "Geribbelde draineerbuizen van ongeplasticeerd P.V.C.". Buizen voorzien van een KOMO-garantiemerk voldoen aan de kwaliteitseisen volgen NEN 7036. Voor buisdiameters > 125 mm zijn nog geen keuringseisen beschikbaar.

Hulpstukken

Bij de aanleg van drainage kunnen zo nodig de volgende hulpstukken gebruikt worden:

- klikmoffen
- verloopstukken
- T-stukken
- kruisstukken
- drainbruggen
- eindkappen of -stoppen
- eindbuizen
- taludgoten
- controleputten
- doorsteekpunten

Voor klikmoffen is er een ontwerp NEN 7080 "Cilindrische moffen van kunststof voorzien van klikverbindingen voor geribbelde draineerbuizen". Voor eindbuizen bestaan er functionele eisen, op grond waarvan de KOMO producten kan certificeren.

Omhuillingsmaterialen

De functie van drainage-omhuillingsmateriaal is tweeledig, te weten:

- het vergemakkelijken van de toestroming van het water uit de grond naar en in de drain;
- het tegengaan van inspoeling van bodemdeeltjes in de drain.

Bij de keuze van het omhullingsmateriaal spelen de volgende aspecten van de bodem een rol:

- de stabiliteit van de grond;
- het leemgehalte bij zand- en leemgronden;
- het voorkomen van ijzerverbindingen in het grondwater;
- de rijping;
- het organische-stofgehalte;
- de kalktoestand/pH.

Stabiliteit

Alleen die bodemprofielen die tot op drainniveau meer dan 17,5% lutum bevatten, zijn zodanig stabiel dat niet of nauwelijks inspoeling van bodemdeeltjes in de drain te verwachten is. Voor zover er onder deze omstandigheden toch inspoeling plaats heeft gevonden, is het materiaal zo fijn, dat dit gemakkelijk kan worden uitgespoeld. Bij deze profielen, die over het algemeen kunnen voorkomen op zware zavelgronden en de kleigronden voor zover deze profielen niet gelaagd zijn dan wel naar beneden niet lichter worden, is dan ook geen drainageomhullingsmateriaal nodig. De lichtere profielen zijn gevoelig tot zeer gevoelig voor inspoeling; er moet altijd een synthetisch omhullingsmateriaal worden gebruikt. Op de dekzandgronden is het inspoelingsgevaar over het algemeen zodanig beperkt dat ook een open en verteringsgevoelig materiaal als kokos toch voldoet.

Leemgehalte

In leemarm en zwaklemig zand kunnen in principe dunne materialen worden toegepast; bij hogere leemgehalten ($> 17\frac{1}{2}\%$) is het gevaar voor het dichtslaan van het dunne omhullingsmateriaal met fijne bodemdelen aanwezig en moet uitsluitend volumineus materiaal worden toegepast.

IJzerverbindingen

Tweewaardige ijzerverbindingen die zijn opgelost in grondwater, slaan neer zodra ze - na in contact te zijn gekomen met zuurstof - driewaardig zijn geworden. Deze omzetting komt met name voor in en nabij de drain. Het neergeslagen ijzer kan aanleiding geven tot verstopping van het drainageomhullingsmateriaal en van de perforaties in de buiswand. Bij dit omzettingsproces spelen micro-organismen eveneens een rol. Deze micro-organismen zijn ten dele ook actief in anaërobe omstandigheden. Het permanent onder water houden van de drains is dan ook geen afdoende oplossing en heeft meestal weer bezwaren van andere aard. Problemen met deze ijzerafzettingen komen vaak permanent voor in kwelgebieden. Ze zijn meestal tijdelijk van aard bij grondwaterstandsverlagingen, bijvoorbeeld als gevolg van de uitvoering van waterbeheersingsplannen.

Bij te verwachten ijzerproblemen dienen altijd buizen met grote perforaties te worden gebruikt (buistype B). Bij zeer sterke ijzerverschijnselen is het moeilijk een drainagestelsel blijvend in stand te houden. Een kale drainbuis die wordt voorzien van een mantel van grof materiaal (bijvoorbeeld grind), geeft wellicht nog een redelijke levensduur, mits de buis en de perforaties zeer regelmatig worden schoongespoeld. Bij minder sterke ijzerverschijnselen kan een relatief open volumineus omhullingsmateriaal voldoen, mits

voldoende onderhoud wordt gepleegd. Zijn de ijzerverschijnselen permanent dan is een duurzaam omhullingsmateriaal gewenst. Dunne omhullingsmaterialen kunnen alleen worden toegepast indien niet of nauwelijks ijzerproblemen te verwachten zijn. De identificatie van het gevaar voor ijzerproblemen is nog in onderzoek. Voorlopig moet de praktijk nog volstaan met de vuistregels die zijn vermeld in tabel 4.1.8.

Tabel 4.1.8. Identificatie van het gevaar voor ijzerafzetting. (Naar: Kuntze en Eggelsman, 1974).

IJzergehalte van het grondwater	Visuele kenmerken		
	slootwater	slootbodem	bodemprofiel
laag	helder	donkergrijs/zwart	homogeen gekleurd, geen roestverschijnselen
matig	duidelijk rode vlokjes; olie-achtige vlekken op het oppervlak	roodbruin	klei: gleyverschijnselen zand: podzolen en gooreerden
hoog	troebel: bruin gekleurd olie-achtige vlekken op het oppervlak	duidelijk rode, slijmerige afzettingen	behalve gleyverschijnselen ook ijzerconcreties

Rijping

Vaak zijn niet gerijpte gronden slecht doorlatend. In deze situaties moet een volumineus omhullingsmateriaal worden toegepast. De vraag of dit een tijdelijk of blijvend materiaal moet zijn, hangt af van andere genoemde omstandigheden. De rijping rondom de drain kan in principe worden bespoedigd door uitsluitend te werken met een sleuvengravende draineermachine, en vervolgens onder droge omstandigheden de sleuf enige tijd open te laten liggen. In de praktijk valt deze maatregel meestal tegen. Het ingedroogde materiaal wordt vaak erg hard en kluitig, waardoor de sleuf zich moeilijk goed laat vullen. Bovendien is het op grote schaal open laten liggen van sleuven in verband met het wisselvallige weer een riskante zaak.

Organische-stofgehalte

De vertering van organische omhullingsmaterialen wordt sterk bevorderd door het bodemleven dat aanwezig is in organisch materiaal dat in de bodem reeds aanwezig is. Dit geldt in ieder geval voor de bouwvoor, maar waarschijnlijk ook voor humeuze lagen in klei- en zavelgronden met een hoge pH. Het voorkomen van deze lagen kan een extra aanleiding zijn geen organische omhullingsmaterialen toe te passen. Het aanbrengen van bouwvoor op de drain moet altijd worden vermeden, niet alleen vanwege het verteringsgevaar, maar ook vanwege de sterke afname van de doorlatendheid van "begraven" bouwvoor.

Bij veengronden bestaat het gevaar van dichtslaan van dunne omhullingsmaterialen met uitgespoelde afbraakprodukten van organische stof. Bij deze gronden moeten tevens buizen met grove perforaties worden toegepast (buistype B).

Kalktoestand/pH

Zoals reeds eerder werd gesteld, verteren organische materialen in kalkrijke gronden sneller dan in kalkloze gronden. De kalktoestand van het profiel kan worden onderzocht door middel van druppelen met 10% HCl-oplossing. Indien geen zichtbare en hoorbare reactie optreedt, is de grond als kalkarm te beschouwen.

Materiaalaspecten

De belangrijkste aspecten die van invloed zijn op de keuze van de materialen zijn samengevat in tabel 4.1.9. Naast de eigenschappen die van belang zijn voor de werking, is in de tabel informatie opgenomen over de volgende aspecten:

- kwaliteitsbewaking: KOMO-certificering;
- bekendheid met het materiaal in de praktijk: ervaring;
- de prijs.

Materiaalkeuze

Helaas is het zo dat het ideale drainage-omhullingsmateriaal niet bestaat. Voor iedere omstandigheid dient dan ook een keuze te worden gemaakt waarbij de voor- en nadelen tegen elkaar moeten worden afgewogen. Om bij het doen van deze keuzen te kunnen beschikken over een algemene leidraad is in tabel 4.1.10 voor een beperkt aantal omstandigheden aangegeven welke materialen toepasbaar zijn.

Indien een te draineren perceel uit meer dan één van de onderscheiden bodemtypen bestaat en het praktisch niet mogelijk is per profieltype de optimale drainomhulling toe te passen, dient te worden uitgegaan van het minst tolerante profieltype.

Tabel 4.1.9. Beoordeling op praktische toepasbaarheid van de voorkomende drainage- omhullingsmaterialen ¹⁾ (Van Zeijts, 1986).

Materiaal	Algemene gegevens			Beoordeling ²⁾		
	KOMO-certificaat voorhanden	ervaring met het materiaal	prijsindicatie ³⁾ (f/m ¹)	duurzaamheid i.v.m. vertering	gevoeligheid voor verstopping met ijzer- en humus-verbindingen	betrouwbaarheid i.v.m. tegengaan van inspoeling van bodemdelen in instabiele gronden
1	2	3	4	5	6	7
VOLUMINEUS						
- plantaardig						
kokosvezel 750 gr/m ²	ja	groot	0,40	beperkt	vrij klein	klein
turf/kokosvezel	ja	groot	0,70	beperkt	matig	matig
turfvezel	ja	groot	0,70	beperkt	matig	matig
- synthetisch						
polypropeenvezel aanduiding "A-kwaliteit" ⁴⁾	nee ⁵⁾	beperkt	1,00-1,50	duurzaam	vrij klein	groot
polypropeenvezel aanduiding "B-kwaliteit" ⁴⁾	nee ⁵⁾	klein	0,50-0,70	duurzaam	nog onbekend	nog onbekend
polystyreenkorrels in kunststoffolie	nee ⁵⁾	beperkt	0,60	duurzaam	vrij klein	groot
polystyreenkorrels kunststofnet	nee ⁵⁾	zeer klein	0,60	duurzaam	vrij klein	nog onbekend
DUN ⁶⁾						
- synthetisch						
glasvlies	nee	groot ⁷⁾	0,20	duurzaam	zeer groot	groot
"Cerex" 25 gr/m ² ⁸⁾	nee	zeer klein	0,40	duurzaam	zeer groot	groot
"Typar" 68 gr/m ²	nee	zeer klein	0,40	duurzaam	zeer groot	groot
diverse breisels en weefsels van kunststof	nee	zeer klein	0,50-0,70	duurzaam	zeer groot	goed

1) Deze tabel geldt niet als de drainage tevens voor infiltratie wordt gebruikt.

2) Deze beoordeling geldt alleen voor zover de vermelde materialen aan zekere eisen voldoen. De kwaliteit is alleen gewaarborgd indien met KOMO-certificaat wordt geleverd.

3) Globale prijsindicatie voor omhulling van een buis Ø/ 60 mm op basis van het prijspeil 2e halfjaar 1985.

4) Deze in de praktijk gehanteerde aanduidingen zijn niet gebaseerd op gestandaardiseerde kwaliteitseisen.

5) Certificeringsmogelijkheid is in voorbereiding.

6) De vermelde dunne materialen zijn gerangschikt naar toenemende sterkte.

7) Alleen in Zeeland.

8) Ook wel aangeduid als N25.

Tabel 4.1.10. Keuzemogelijkheden drainage-omhullingsmaterialen op gronden zonder gevaar voor ijzerafzettingen¹⁾ (Van Zeijts, 1986).

Materiaal	KLEI- EN ZAVELGRONDEN ²⁾					KLEI-OP-VEEN- EN VEEN-GRONDEN	ZAND- EN LEEMGRONDEN ²⁾	
	profiel bevat tot op draindiepte meer dan 17½% lutum ³⁾ (zware zavel en klei)		overige klei- en zavelgronden				bevat het profiel overal meer dan 17% leem?	
							ja	nee
							is het M50-cijfer groter dan 120?	
	ja	nee	ja	nee			ja	nee
1	2	3	4	5	6	7	8	9
IS HET MATERIAAL BRUIKBAAR? ⁴⁾								
VOLUMINEUS								
- <i>plantaardig</i>	- n o d i g e							
kokosvezel 750 gr/m ²		ja	-	-	ja	ja	ja	-
turf/kokosvezel		ja	-	-	ja	ja	ja	-
turfvezel		ja	-	-	ja	ja	ja	-
- <i>synthetisch</i>								
polypropeenvezel aanduiding (A-kwaliteit)		ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
polypropeenvezel aanduiding (B-kwaliteit)	- l i n e	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
polystyreenkorrels in kunststoffolie		ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
polystyreenkorrels in kunststofnet ⁵⁾		ja	-	-	ja	ja	ja	-
- <i>synthetisch</i>								
glasvlies	- e e n	-	ja	-	-	-	ja	ja
Cerex 25 gr/m ²		-	ja	-	-	-	ja	ja
Typar 68 gr/m ²		-	ja	-	-	-	ja	ja
diverse breisels en weefsels van kunststof		-	ja	-	-	-	ja	ja

1) Deze tabel geldt niet als de drainage tevens voor infiltratie wordt gebruikt.

Bij gevaar voor ijzerafzettingen alleen volumineuze synthetische materialen toepassen.

2) Indien in het profiel humeuze of venige lagen voorkomen alleen volumineuze materialen toepassen.

3) 17% lutum = 25% afslibbaar.

4) Indien het teken - is geplaatst, betekent dit niet altijd dat toepassing wordt afgeraden, maar wel dat betere alternatieven voorhanden zijn.

5) Bij nader onderzoek moet de gevoeligheid voor zandinspoeling nog worden vastgesteld.

4.1.8. Drainagecontrole en onderhoud

Controle op nieuw gelegde drainage

Door de Landinrichtingsdienst zijn besteksbepalingen geformuleerd voor het leggen en controleren van buisdrainages. Uit deze bepalingen is het volgende overgenomen:

Controlepunten ten aanzien van het ontwerp

Drainrichting, -afstand, -diepte, -verhang, -diameter, -omhullings-, afdek- of filtermateriaal, eindbuizen en hulpstukken

Controlepunten ten aanzien van het leggen

Grondwerk, kwaliteit van de toegepaste materialen, strakke en rechte ligging van de buis en de verwerking van eindbuizen en hulpstukken.

Wijze van controle

Alleen voor de controle op hoogteligging en doorsteekbaarheid is een meetmethode ontwikkeld.

Hoogteligging

De hoogteligging wordt gemeten met behulp van een waterpastoestel, baak en eventueel drainprikker.

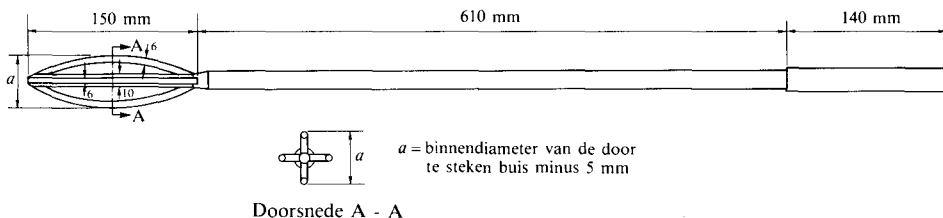
De hoogteligging moet voldoen aan de volgende eisen:

- de afwijking van de onderkant van de buis ten opzichte van de geprojecteerde verhanglijn mag niet meer bedragen dan de helft van de inwendige draindiameter;
- de genoemde afwijking mag nergens zodanig zijn dat als gevolg van negatief verhang op enig plaats in de buis het water boven de aslijn van de buis kan blijven staan.

Doorsteekbaarheid

De doorsteekbaarheid wordt gemeten met behulp van een doorsteekapparaat en doorsteekkrachtmeter (fig. 4.1.16 en 4.1.17). De controle moet als volgt plaatsvinden.

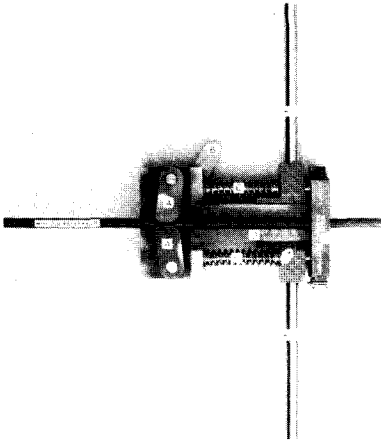
- binnen 3 weken na aanleg van de drainreeksen 10% van het aantal reeksen, met een minimum van 20, doorsteken;
- voor buizen met een diameter van 50 tot 80 mm gelden de in tabel 4.1.11 genoemde toelaatbare drukkrachten.



Figuur 4.1.16. Doorsteekapparaat.

Tabel 4.1.11. Toelaatbare drukkrachten bij doorsteekbaarheidsonderzoek voor buizen met een diameter van 50 tot 80 mm.

Afstand vanaf de eindbuis	Bij zichtbare drainafvoer	Geen drainafvoer
0 tot 100 m	2 tot 3 kg	2 tot 4 kg
100 tot 200 m	3 tot 6 kg	4 tot 8 kg
200 tot 300 m	6 tot 9 kg	8 tot 13 kg
300 tot 400 m	9 tot 12 kg	13 tot 20 kg



- 1. Vast om de staaf geklemde onderdelen:
 - A klemmen, voor aanbrengen en afnemen te openen door lossing B in te drukken
 - C geleidebeugel met snelsluiting
 - D schaalverdeling in kg
- 2. Beweegbare onderdelen:
 - E drukveren
 - F handvatten met richting
 - G afleespijl

Figuur 4.1.17. Doorsteekkrachtmeter.

Onderhoud van drainage

Drainage dient om de grondwaterstand te beheersen. Plasvorming door bijvoorbeeld een verdichte zode, een verslechte bouwvoor of een ploegzool is met drainage niet te voorkomen. Voor het goed kunnen functioneren van een drain is het nodig dat het water er vrij doorheen kan stromen en dus niet gehinderd wordt door inspoeling of ingroei. Een visuele beoordeling van het afvoerverloop in natte perioden verschaft inzicht in het functioneren van de drainage. Een vuistregel is dat na een droge dag de afvoer bij een goed werkende drainage ongeveer 2/3 bedraagt van die op de vorige dag.

Eindbuizen

Ieder jaar op goede ligging controleren, zo nodig herstellen, vrij maken van begroeiing, de eerste paar meter van de drainbuis met een stok reinigen.

Drainreeksen

Doorspuiting met water op een moment dat de drain enige afvoer heeft.

Doorspuit-materieel

- . spuitkop met schuin achterwaarts gerichte waterstralen;
- . slang op haspel;
- . pomp met lage druk (< 20 bar), middeldruk (20-50 bar) of hoge druk (> 50 bar). Deze drukken gelden aan de pomp; bij de spuitkop is de druk aanzienlijk lager.

Resultaten van doorspuiten

- . lutum en silt zijn goed te verwijderen;
- . ijzer- en zwavelafzettingen en wortelingroei zijn moeilijk te verwijderen, tenzij frequent wordt doorgespoten;
- . zand is vrijwel niet te verwijderen, maar wordt slechts over korte afstand verplaatst;
- . in zandige ondergronden kan door een overmaat van water en/of een te hoge druk instabiliteit rond de drainbuis ontstaan, waardoor zandinspoeling kan optreden.

Frequentie van doorspuiten

De frequentie van doorspuiten hangt sterk af van de omstandigheden en het bodemgebruik.

- . in het algemeen doorspuiten in het eerste jaar na aanleg en afhankelijk van het functioneren van de drain en de omvang van de inspoeling om de 3 à 10 jaar;
- . bij ijzerafzettingen en wortelingroei (bos, windsingels) een keer per één of twee jaar.

4.1.9. Literatuur

- Beers, W.F.J. van, 1965.
Some nomographs for the calculation of drain spacings. Bull. 8. Int. Instit. for Land Recl. and Impr., Wageningen.
- Beers, W.F.J. van, 1976.
The auger-hole method. Bull. 1. Int. Instit. for Land Recl. and Impr., Wageningen.
- Boumans, J.H. 1963.
Een algemene nomografische oplossing van stationaire vraagstukken. Polytechn. Tijdschr. (18): p.545-551.
- Boumans, J.H. 1972.
Veldboek voor land- en waterdeskundigen. Hfdst. H. 1.1.4. Int. Instit. for Land Recl. and Impr., Wageningen.
- Boumans, J.H., 1978.
Drainage calculations in stratified soils using the anisotropic soil model to simulate hydraulic conductivity conditions. Proc. of the Intern. Drainage Workshop, Publ. 25. Int. Instit. for Land Recl. and Impr., Wageningen.
- Bouwer, H., 1961.
A double tube method for measuring hydraulic conductivity of soil in situ below a watertable. Proc. Soil Sci. Soc. Am. 25: p.334-339.
- Cavelaars, J.C., 1978.
Composing a drainage pipe line out of sections with different diameters. Proc. of the Intern. Drainage Workshop, Publ. 25. Int. Instit. for Land Recl. and Impr., Wageningen.

- Commissie voor Hydrologisch Onderzoek TNO, 1986.
Verklarende hydrologische woordenlijst. Rapporten en nota's no. 16.
Commissie voor Hydrologische Onderzoek TNO, 's-Gravenhage.
- Dekker, K., 1983.
Een samenhangend ontwerp voor het ontwaterings- en afwateringsstelsel. Interne notitie Land-inrichtingsdienst, Utrecht.
- Dekker, K. en G.A. Ven, 1982.
De afvoercapaciteit van drainbuizen en de invloed op het drainage-ontwerp. Cultuurtechn. Tijdschr. 22(1): p.38-47.
- Dekker, L.W., J. Bouma en D.H. Boersma, 1981.
De horizontale en verticale verzadigde doorlatendheid van zware kleilagen, gemeten met de kubus methode. Cultuurtechn. Tijdschr. 21(3): p.174-181.
- Ernst, L.F., 1950.
A new formula for the calculation of the permeability factor with the auger-hole method. TNO, Groningen.
- Ernst, L.F., 1954.
Het berekenen van stationaire grondwaterstromingen, welke in een verticaal vlak afgebeeld kunnen worden. Rapport IV. Landbouwk. Proefstation, Groningen.
- Grontmij, 1979.
Onderzoek doorlatendheid zanden. Intern rapport Grontmij N.V.
- Hooghoudt, S.B., 1940.
Bijdrage tot de kennis van enige natuurkundige grootheden van de grond. Versl. Landbouwk. Ond. no. 46: p.515-707.
- Hoorn, J.W. van, 1978.
Determining hydraulic conductivity with the inversed augerhole method and infiltrometer methods. Proc. of the Intern. Drainage Workshop, Publ. 25. Int. Institut. for Land Recl. and Impr., Wageningen.
- Jager, A.W. de, 1965.
Hoge afvoeren van enige Nederlandse stroomgebieden. Dissertatie. Pudoc, Wageningen.
- Kessler, J. and R.J. Oosterbaan, 1974.
Determining hydraulic conductivity of soils. Drainage principles and applications, Vol. III. Publ. 16. Int. Institut. for Land Recl. and Impr., Wageningen.
- Knops, J.A.C. en F.C. Zuidema, 1977.
Aanbevelingen voor de keuze van omhullingsmaterialen voor drainbuizen. Cultuurtechn. Tijdschr. 16(6): p.274-283.
- Krayenhoff van de Leur, D.A., 1958.
A study of non-steady groundwater flow with special reference to a reservoir coefficient, Deel I. De Ingenieur 70: p.87-94.
- Kuntze, H. und R. Eggelsmann, 1974.
Erkennen und Bestimmen der Verockerungsgefahr für Dräne im Felde. Wasser und Boden 26(10): p.294-297.
- Landinrichtingsdienst, 1978.
Rapport Werkgroep Inventarisatie van de Waterbeheersing. Utrecht.
- Landinrichtingsdienst, 1981
Drainagevooronderzoek in ruilverkavelingen. Meded. 136. Utrecht.
- Luthin, J.W. and D. Kirkham, 1949.
A piezometer method for measuring permeability of the soil in situ below a water table. Soil Sci. 68: p.349-358.
- Maasland, M., 1959.
Water table fluctuations induced by intermittent recharge. J. Geoph. Res. 64: p.549-589.
- Ministerie van Landbouw en Visserij, 1988
Aanleg en onderhoud van drainage. Vlugschrift voor de Landbouw nr. 361, Ministerie van Landbouw en Visserij, 's-Gravenhage.
- Molen, W.H. van der, 1960.
Over de diameter van drains en hoofddrains. Rapport. Grontmij N.V., De Bilt.

Segeren, W.A., 1967.

Dictaat van theoretische beschouwingen over de waterhuishouding. Interne publikatie Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders, Lelystad.

Someren, C.L. van, 1958.

Het drainage-onderzoek in Nederland. Cultuurtechnische Dienst, Utrecht.

Wesseling, J., 1965.

Stromingsweerstand in plastic drainbuizen. Nota 293. Instit. voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Wageningen.

Wesseling, J., 1969.

Bergingsfactor en drainagecriterium. Meded. 118. Instit. voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Wageningen.

Zeijts, T.E.J. van, 1986.

Voorlopige aanbevelingen voor de keuze van drainage-omhullingsmaterialen. Cultuurtechn. Tijdschr. 25(5): p.343-356.

4.2. Afwatering

4.2.1. Inleiding

De afwatering vormt het onderdeel van het waterbeheersingssysteem dat zorg draagt voor het transport van water door het waterlopenstelsel naar een lozingspunt, vanwaar het water al of niet op kunstmatige wijze uit het gebied geloosd wordt.

In perioden met neerslagoverschot moet het waterlopenstelsel de overtollige hoeveelheid water afvoeren en in perioden met een verdampingsoverschot moet zodanig conservering in of aanvoer door het stelsel kunnen plaatsvinden. Aan- en afvoer van water moet zodanig kunnen worden geregeld dat er een op het bodemgebruik afgestemde optimale situatie ontstaat.

De afwateringsmiddelen bestaan uit waterlopen en kunstwerken.

Afhankelijk van de af te voeren hoeveelheden water, toelaatbare peilen, maximum toelaatbare stroomsnelheden, weerstandsfactoren en grondmechanische aspecten worden de waterlopen en de kunstwerken gedimensioneerd (zie hfdst. V. 1.1). De maatgevende neerslag, de bodemgesteldheid en het grondgebruik bepalen in belangrijke mate de bovengenoemde dimensioneringsvoorwaarden. De afwatering mag geen belemmering vormen voor een goede ontwatering.

In dit hoofdstuk worden afvoer- en droogleggingsnormen vermeld. Ook worden enkele modellen ter bepaling van afvoerintensiteiten beschreven.

4.2.1. Begrippen

De onderstaande begrippen zijn ontleend aan de "Verklarende hydrologische woordenlijst", *Commissie voor Hydrologisch Onderzoek TNO* (1986).

Nr.	Term	Omschrijving	Gangbare eenheid	Dimensie	Symbool
1	afvoer	Debiet (I ₀) uit een gebied.	m ³ · s ⁻¹	L ³ T ⁻¹	<i>Q</i>
2	afvoercapaciteit	De hoogste afvoer (I) die onder bepaalde omstandigheden een waterloop of kunstwerk kan passeren.	m ³ · s ⁻¹	L ³ T ⁻¹	-
3	afvoeroverschrijdingsfrequentie (afvoerfrequentie)	Het aantal keren dat een bepaalde afvoer (I) in een zekere periode wordt bereikt of overschreden.	-	dim.loos	<i>P</i>
4	afvoersysteem	Het samenhangend geheel van drainagebuizen, greppels, waterlopen, kunstwerken en lozingsmiddelen voor de afvoer van water uit een gebied.	-	-	-
5	afwatering	De afvoer van water via een stelsel van open waterlopen naar een lozingspunt van het afwateringsgebied.	-	-	-

Nr.	Term	Omschrijving	Gangbare eenheid	Dimensie	Symbool
6	basisafvoer	Trage afvoer, dat is dat deel van de afvoer dat als gevolg van langdurige berging eerst na geruime tijd tot stand komt. De berging kan plaatsvinden in de bodem, in meren (waaronder stuwmeren), in de vorm van sneeuw enz.	$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	$\text{L}^3 \text{T}^{-1}$	Q_0
7	bemalen	Het verwijderen van overtollig water door middel van een gemaal.	-	-	-
8	berging (geborgten hoeveelheid water)	Het volume water dat aanwezig is binnen een bepaald gebied.	m^3	L^3	V
9	bergingscapaciteit (af te raden term: open-water-berging)	Het volume water dat geborgten kan worden tussen het streefpeil en het aanvaardbaar hoogste peil.	m^3	L^3	V
10	debiet	Het vloeistofvolume dat per tijdseenheid door een doorsnede stroomt.	$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ of $\text{liter} \cdot \text{s}^{-1}$	$\text{L}^3 \text{T}^{-1}$	Q
11	drainagebasis	De grondwaterstand die bereikt wordt na een droge periode en dan bij benadering overeenkomt met: a. de waterstand in de ontwateringsmiddelen; b. de hoogteligging van de drainbuizen; c. de bodem van waterlopen op het moment dat deze droogvallen.	cm	L	h
12	drooglegging	Het hoogteverschil tussen de waterspiegel in een waterloop en het grondoppervlak.	cm	L	-

13	hoogwaterpeil	Cultuurtechnische term. De waterstand in een kleine waterloop behorende bij een afvoer die gemiddeld 1 dag per jaar wordt bereikt of overschreden. Deze afvoer volgt uit de specifieke afvoeren (24) van de deelgebieden.	cm	L	h
14	hoogwater-normpeil	De gewenste waterstand in een waterloop behorende bij een ontwerpafvoer die 1 dag per jaar wordt bereikt of overschreden	cm	L	h

Nr.	Term	Omschrijving	Gangbare eenheid	Dimensie	Symbool
15	lozing	Kunstmatige of natuurlijke afvoer (l) van overtollig water.	-	-	-
16	maatgevende afvoer	De afvoer die bepalend is gesteld voor het ontwerp of een deel ervan.	$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	$\text{L}^3 \text{T}^{-1}$	-
17	maximaalwater-normpeil	De gewenste waterstand in een waterloop behorende bij een ontwerpafvoer die 1 dag per 100 jaar wordt bereikt of overschreden.	cm	L	<i>h</i>
18	normaal waterpeil	Cultuurtechnische term. De waterstand in een kleine waterloop behorende bij een afvoer die 50% bedraagt van de bij het hoogwaterpeil (13) behorende afvoer. Onder Nederlandse omstandigheden wordt deze waterstand op 10 à 20 dagen per jaar bereikt of overschreden.	cm	L	<i>h</i>
19	normaalwater-normpeil	De gewenste waterstand in een waterloop behorende bij een ontwerpafvoer die 10 à 20 dagen per jaar wordt bereikt of overschreden. Dit peil ligt ten grondslag aan het ontwerp van de waterloop.	cm	L	<i>h</i>
20	ontwateringsdiepte	De afstand tussen het grondoppervlak en de hoogste grondwaterstand tussen de ontwateringsmiddelen.	cm	L	-
21	peilgebied	Een gebied waarin één en hetzelfde peil wordt nagestreefd.	-	-	-
22	polderpeil	a. Het peil in de waterlopen van een polder dat d.m.v. inlaten en afvoeren wordt beheerst. b. Het reglementair vastgestelde waterpeil in een polder dat door de beheerende instantie wordt nagestreefd.	cm cm	L L	<i>P.P.</i> <i>P.P.</i>
23	snelle afvoer	De totale afvoer minus de basisafvoer (6).	$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	$\text{L}^3 \text{T}^{-1}$	-
24	specifieke afvoer (afvoerintensiteit af te raden termen: afvoercoëfficiënt, afvoerdichtheid, afvoerfactor)	Afvoer per oppervlakte-eenheid van het beschouwde gebied (met een gekozen overschrijdingsfrequentie) welke wordt gebruikt voor het ontwerp van leidingen en bijbehorende kunstwerken.	$\text{liter} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$	L T^{-1}	-
25	stuwpeil	Feitelijk of nagestreefd peil op een bepaalde plaats in een stuwpand.	cm	L	<i>S.P.</i>
26	topafvoer	De grootste afvoer die gedurende een hoogwaterperiode voorkomt.	$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	$\text{L}^3 \text{T}^{-1}$	<i>Q</i>

4.2.3. Enkele grootheden van de afwatering

Grootheden voor het ontwerp

De belangrijkste grootheden voor het ontwerp zijn de maatgevende afvoeren en droogleggingen.

de afvoeren

Voor het ontwerp wordt een maatgevende afvoer of een afgeleide daarvan gekozen. Onderscheiden kunnen worden:

- De Maatgevende Afvoer die 1 à 2 dagen per jaar wordt bereikt of overschreden.
- De Halve Maatgevende Afvoer die 10 à 20 dagen per jaar wordt bereikt of overschreden.
- De Maximale Afvoer die 1 à 2 dagen per 100 jaar wordt bereikt of overschreden.

de droogleggingen

De waterstanden in het waterlopenstelsel kunnen sterk fluctueren. Voor het ontwerp wordt een hoogst toelaatbare waterstand gekozen, die bij voornoemde afvoer optreedt. Deze wordt de droogleggingsnorm genoemd. In een afvoersituatie kunnen de volgende droogleggingsnormen worden onderscheiden:

- Hoog Waternormpeil (H.W.-normpeil); geldt bij maatgevende afvoer en mag dus gemiddeld 1 dag per jaar worden bereikt of overschreden.
- Normaal Waternormpeil (N.W.-normpeil); geldt bij halve maatgevende afvoer en mag dus 10 à 20 dagen per jaar worden bereikt of overschreden.
- Maximaal Waternormpeil (M.W.-normpeil); geldt bij maximale afvoer en mag dus gemiddeld 1 dag per 100 jaar worden bereikt of overschreden.

Bij weinig of geen afvoer wordt in vlakke gebieden gestreefd naar handhaving van een bepaald polderpeil, afhankelijk van terreingesteldheid, gebiedsgrootte en agrohydrologische omstandigheden. Peilhandhaving vindt plaats door bemalen, inlaten en/of stuwen (stuwpeil).

In hellende gebieden is bij weinig of geen afvoer voor peilbeheersing het plaatsen van stuwen noodzakelijk. Met stuwen is een zekere mate van conservering mogelijk.

De normstelling voor het ontwerp

De normstelling voor het ontwerp is een compromis tussen kosten en baten, waarbij rekening wordt gehouden met nog aanvaardbare risico's.

Voor de landinrichtings- en waterschapswerken geldt voor de dimensionering veelal de volgende werkwijze:

- De afmetingen van waterlopen worden berekend op basis van halve maatgevende afvoer, zodanig dat de berekende drooglegging de gewenste drooglegging op niet meer dan 5 à 10% van de oppervlakte die afwatert op de betreffende waterlopen onderschrijdt en/of op niet meer dan 10 à 15% van deze oppervlakte overschrijdt. De te hanteren droogleggingsnormen worden gedifferentieerd naar grondsoort en grondgebruik.

- Het aldus berekende profiel wordt vervolgens belast met de maatgevende afvoer; de hierbij optredende peilen mogen de H.W.-normpeilen niet overschrijden.
- Kunstwerken en gemalen worden ontworpen op de maatgevende afvoer.
- Bij hellende gebieden wordt nog een controleberekening uitgevoerd met de maximale afvoer (M.W.-normpeil) om te kunnen corrigeren als er inundaties of te hoge stroomsnelheden ter plaatse van de kunstwerken optreden.

Voor een uitgebreidere beschrijving van het ontwerpproces wordt verwezen naar hfdst. V. 1.2.

In de IJsselmeerpolders wordt bij de dimensionering van het afwateringsstelsel (tochten en vaarten) uitgegaan van genormaliseerde dwarsprofielen. Als kleinste waterhoudend profiel wordt het zogenaamde 6-profiel (6 m² watervoerende doorsnede) toegepast.

Het watervoerend profiel wordt zo gekozen, dat bij maatgevende afvoer en bij polderpeil een stroomsnelheid van 0,25 m · s⁻¹ niet wordt overschreden. Voor de vaarten kunnen de eisen voor scheepvaart maatgevend zijn. Ter plaatse van de gemalen wordt de maatgevende afvoer van de vaarten afgestemd op de bemalingscapaciteit.

Afhankelijk van grondsoort en grondgebruik worden droogleggingsnormen en toelaatbare peiloverschrijdingen geformuleerd. Hierbij moet rekening gehouden worden met eventuele zakking van het maaiveld.

4.2.4. Afvoer- en droogleggingsnormen in de praktijk

In de praktijk wordt voor de dimensionering van het waterlopenstelsel veelal van empirisch bepaalde normen uitgegaan. Bekend zijn geworden de in Noord-Brabant door *Blaauw en Oostra* (1962) geformuleerde criteria, de in Drenthe gehanteerde normen en de door Sonneveld voor de Heidemij opgestelde criteria.

In de loop der tijd zijn deze normen op basis van bredere praktijkervaringen, en incidenteel ondersteund door meetgegevens in vergelijkingsgebieden, verder gedifferentieerd naar grondsoort, grondgebruik en grondwaterstandsverloop (Gt). Veelal wordt daarbij gebruik gemaakt van de door de *Werkgroep Afvoerberekeningen* (1979) opgestelde "Richtlijnen voor het berekenen van afwateringsstelsels in landelijke gebieden".

Afvoernormen

Bij het ontwerp van waterlopenstelsels voor landinrichtings- en waterschapswerken worden voor de grootte van de maatgevende afvoer in tabel 4.2.1 richtlijnen gehanteerd:

In de IJsselmeerpolders worden voor het waterlopenstelsel afvoernormen gehanteerd, waarin rekening is gehouden met de gebiedsgrootte:

- tochten en sloten : 1,50 l · s⁻¹ · ha⁻¹
- vaarten : 1,25 l · s⁻¹ · ha⁻¹ of hoger

De bemalingscapaciteit wordt berekend op grond van de openwaterberging, het te verwachten waterbezwaar en de met een zekere frequentie toelaatbare polderpeiloverschrijdingen. Voor de bestaande IJsselmeerpolders met een openwaterberging van 1 à 1,5% bedraagt de geïnstalleerde bemalingscapaciteit 1,35 à 1,70 l.s⁻¹. ha⁻¹.

Tabel 4.2.1. Richtlijnen voor de grootte van de maatgevende afvoer.

Bodemgesteldheid en Gt-klasse	maatgevende afvoer	
	$l \cdot s^{-1} \cdot ha^{-1}$	$mm \cdot d^{-1}$
Drainage-behoefte gronden (polders) en gronden met Gt I, II en III	1,33 - 1,67	11,5 - 14,4
Zandgronden met Gt IV en V	1,00	8,6
Zandgronden met Gt V* en VI	0,67	5,8
Zandgronden met Gt VII	0,33	2,9
Bosgebieden en overige gronden zonder zichtbare afvoer met Gt VII	0,10	0,9

- Opmerkingen bij tabel 4.2.1:
- Voor gebieden met kwel wordt de afvoernorm verhoogd.
 - De Gt kan veranderen ten gevolge van werken aan het ontwaterings- en/of het afwateringssysteem. In Noord-Brabant wordt in zandgebieden bij verbetering van het primaire afwateringssysteem op basis van de normen uit de tabel, voor de kleinere waterlopen van een 25% lagere afvoernorm uitgegaan.

Droogleggingsnormen

Voorzover uitsluitend het nastreven van optimale agrohydrologische omstandigheden in het geding is, zijn de in tabel 4.2.2 opgenomen droogleggings-ontwerpnormen voor landinrichtings- en waterschapswerken richtinggevend.

Indien naleving van deze normen leidt tot bijvoorbeeld zeer dure waterbeheersingsplannen (onder andere in verband met versnelde maaiveld­daling in veenweide gebieden) of onaanvaardbare effecten op de natuur, dan wordt wordt in de praktijk van deze normen afgeweken.

Voor drainage behoeftige gronden zijn de N.W.-normpeilen afgeleid van de optimale draindiepten zoals vermeld in Vlugschrift voor de Landbouw nr.361 "Aanleg en onderhoud van drainage" (*Ministerie van Landbouw en Visserij*, 1988).

Uitgangspunt hierbij is dat bij halve maatgevende afvoer het N.W.-normpeil zich 10 cm onder de drainuitmonding bevindt. Dit betekent dat in ieder geval tijdens het aantal keren (10 à 20 per jaar) dat het drainage-criterium ($7 \text{ mm} \cdot d^{-1}$) optreedt, de drains vrij kunnen lozen. Deze frequentie is ongeveer gelijk aan die van de halve maatgevende afvoer waarop het N.W.-normpeil van toepassing is.

De marge van 10 cm wordt aangehouden in verband met het optredende verhang in de kavelsloten en een eventuele onnauwkeurigheid in de diepteligging van de drains.

De H.W.-normpeilen zijn conform die in het rapport van de *Werkgroep Inventarisatie van de Waterbeheersing* (1978).

Tabel 4.2.2. Droogleggings-ontwerpnormen voor bouwland en grasland in m – mv

Grondsoort		H.W. norm- peil	Bouwland		Grasland	
bovengrond 1)	ondergrond		N.W. norm- peil	optimale drain- diepte 2)	N.W. norm- peil	optimale drain- diepte 2)
moerig	moerig (veen)	0,60	1,05	0,95	0,85	0,75
	leemarm zand	0,50	0,95	0,85	0,85	0,75
	zwak lemig zand	0,50	1,00	0,90	0,85	0,75
	sterk lemig zand/löss	0,60	1,10	1,00	0,90	0,80
	lichte zavel	0,60	1,10	1,00	0,90	0,80
	zware zavel	0,60	1,10	1,00	0,90	0,80
	klei	0,60	1,10	1,00	0,90	0,80
zand/löss	moerig (veen)	0,60	1,05	0,95	0,85	0,75
	leemarm zand	0,50	0,95	0,85	0,85	0,75
	zwak lemig zand	0,50	1,00	0,90	0,85	0,75
	sterk lemig zand/löss	0,60	1,10	1,00	0,90	0,80
	lichte zavel	0,60	1,10	1,00	0,90	0,80
	zware zavel	0,60	1,10	1,00	0,90	0,80
	klei	0,60	1,10	1,00	0,90	0,80
lichte zavel	moerig (veen)	0,60	1,10	1,00	0,85	0,75
	leemarm zand	0,50	0,90	0,80	0,85	0,75
	zwak lemig zand	0,50	1,15	1,05	0,85	0,75
	sterk lemig zand/löss	0,60	1,20	1,10	0,90	0,80
	lichte zavel	0,60	1,30	1,20	0,90	0,80
	zware zavel	0,60	1,25	1,15	0,90	0,80
	klei	0,60	1,20	1,10	0,90	0,80
zware zavel	moerig (veen)	0,60	1,05	0,95	0,85	0,75
	leemarm zand	0,50	0,90	0,80	0,85	0,75
	zwak lemig zand	0,50	1,00	0,90	0,85	0,75
	sterk lemig zand/löss	0,60	1,10	1,00	0,90	0,80
	lichte zavel	0,60	1,20	1,10	0,90	0,80
	zware zavel	0,60	1,15	1,05	0,90	0,80
	klei	0,60	1,15	1,05	0,90	0,80
klei	moerig (veen)	0,60	1,00	0,90	0,85	0,75
	leemarm zand	0,50	0,90	0,80	0,85	0,75
	zwak lemig zand	0,50	1,00	0,90	0,85	0,75
	sterk lemig zand/löss	0,60	1,10	1,00	0,90	0,80
	lichte zavel	0,60	1,20	1,10	0,90	0,80
	zware zavel	0,60	1,25	1,15	0,90	0,80
	klei	0,60	1,30	1,20	0,90	0,80
alle	grof zand 3)	0,50	0,80-1,10	n.v.t.	0,70-1,00	n.v.t.

1) Bovengrond is gedefinieerd als de eerste 35 cm beneden maaiveld

2) Drains liggen horizontaal; optimale draindiepte = sleufbodembediepte (zie ook par. III. 4.1.4).

3) Gronden waarbij rond 1 m – mv de doorlatendheid erg groot is, zijn in het algemeen niet drainage behoeftig. In de tabel zijn deze gekarakteriseerd met een grofzandige ondergrond. In deze situaties na te streven N.W.-normpeilen zijn afhankelijk van slootafstanden en kwel- of wegzijgingsituaties.

In de IJsselmeerpolders worden droogleggingsnormen gehanteerd die goed aansluiten bij de ontwateringscriteria en draindiepte.

Tabel 4.2.3. De gewenste diepte van het polderpeil in de vaarten en tochten ten opzichte van het maai-veld na zakking, ca 80 jaar na droogvallen van de IJsselmeerpolders.

Bestemming	zware zavel- of kleigrond	lichte zavel	zandgrond	
Akkerbouw en grove tuinbouw	1,40 m	1,50 m	winter zomer	1,40 m ondieper
Grasland	1,30 m	1,40 m	winter zomer	1,30 m ondieper
Fruiteelt	1,60 m	n.v.t.	n.v.t.	
Bos	1,30 m	1,40 m	ca. 1,00 m	

N.B. Het gewenste zomerpeil in zandgronden is sterk afhankelijk van de eisen van het gewas en de zand-grofheid.

Voor de afvoerperiode zijn de volgende eisen ten aanzien van overschrijdingen van de polderpeilen geformuleerd:

- a. Voor grasland, bouwland of bos op fijnzandige of lichte zavelgronden, alsmede inten-sieve recreatie terreinen op zandgronden:
 - 1 × per jaar gedurende hoogstens 2 dagen 1,00 m –mv
 - 1 × per 10 jaar gedurende hoogstens 1 dag 0,75 m –mv
- b. Voor bouwland of fruitteelt op zware zavel- of kleigrond, alsmede bos op zandgrond:
 - 1 × per jaar gedurende hoogstens 2 dagen 0,75 m –mv
 - 1 × per 10 jaar gedurende hoogstens 1 dag 0,50 m –mv

Afvoer en waterdiepte bij verschillende frequenties

In de praktijk van het waterlopenontwerp blijkt dat de N.W.-normpeilen bijna altijd be-palend zijn voor de dimensionering en dat het opgegeven H.W.-normpeil vaak aanzien-lijk onderschreden wordt. Enig inzicht in de te verwachten peiloverschrijdingen bij een gegeven waterloop kan verkregen worden uit het verband tussen afvoer en waterdiepte bij verschillende frequenties.

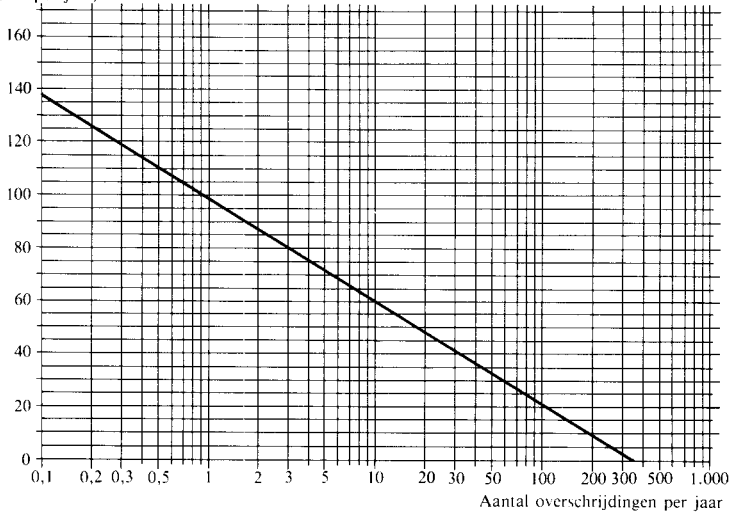
de frequenties van de afvoeren

Uit figuur 4.2.1 kan globaal de gemiddelde frequentie van de afvoeren in landelijke ge-bieden, uitgedrukt in een percentage van de maatgevende afvoer, bepaald worden.

de fluctuaties van de peilen

Uitgaande van een gegeven dwarsprofiel en de formule van Manning (zie hfdst. V. 2.3) kan onder verwaarlozing van kleine verschillen veroorzaakt door taluds en (extreme) bodembreedte-waterdiepte verhoudingen, de waterdiepte bij verschillende afvoerfre-quenties uit figuur 4.2.2 afgeleid worden.

Afvoer in procenten
van de afvoer Q_0
(1 à 2 × per jaar)



Figuur 4.2.1. Grafiek voor het bepalen van de afvoerfrequentie.

Figuur 4.2.2.

Verband tussen waterdiepte h bij afvoer q en bij
diverse andere afvoeren bij gelijkblijvend profiel

- 1,44 q : afvoer met overschrijdingskans
1 × per 10 jaar
2 q : te gebruiken voor omrekening
van 0,5 q naar 1,0 q
0,5 q : afvoer met overschrijdingskans
14 × per jaar
0,1 q : gemiddelde afvoer-overschrijdingskans
113 × per jaar

Voorbeeld

gegeven h : 80 cm

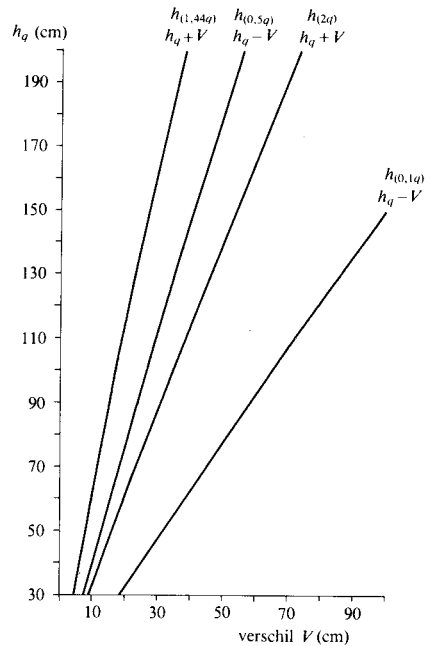
afleesbaar:

$$h_{(1,44q)} = 80 + 13 = 93 \text{ cm}$$

$$h_{(0,5q)} = 80 - 21 = 59 \text{ cm}$$

$$h_{(2q)} = 80 + 27 = 107 \text{ cm}$$

$$h_{(0,1q)} = 80 - 52 = 28 \text{ cm}$$



Uit figuur 4.2.2 blijkt dat bij maatgevende afvoer de waterdiepte globaal 1,3 à 1,4 × zo groot is als de waterdiepte bij halve maatgevende afvoer. Bij een verschil van bijvoorbeeld 0,50 m tussen de droogleggingseis bij halve en hele maatgevende afvoer moet de waterdiepte bij halve maatgevende afvoer minstens 1,30 m bedragen voordat de H.W.-normpeilen bepalend worden voor het ontwerp.

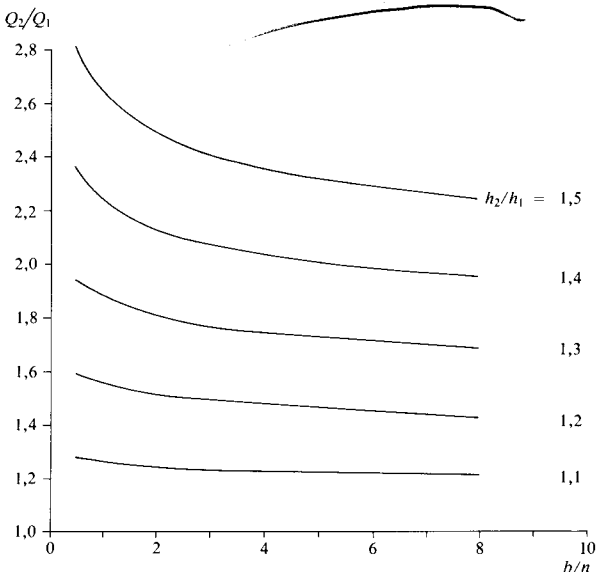
Voor een nauwkeuriger benadering van de relatie afvoer en waterdiepte, waarbij rekening gehouden wordt met de bodembreedte en taludhelling (1:n) kan de invloed van de afvoer op de waterdiepte berekend worden met de door Wesseling (1982) afgeleide formule:

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \left(\frac{h_2}{h_1} \right)^{2,4 (b/n)^{-0,09}}$$

waarin:

- | | |
|---------------------------|--------------------------------------|
| Q = het debiet | ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) |
| h = de waterdiepte | (m) |
| b = de bodembreedte | (m) |
| n = de taludhelling 1:n | (-) |

In figuur 4.2.3 zijn de relaties weergegeven.



Figuur 4.2.3. Verhouding Q_2/Q_1 bij verschillende waterdiepten

Hieruit blijkt eveneens dat bij vergroting van de waterdiepte met een factor 1,4 de afvoer-capaciteit ongeveer $2 \times$ zo groot wordt; voor kleinere waterlopen loopt dit zelfs op tot een factor 2,2.

4.2.5. Modellen ter bepaling van afvoerintensiteiten

Algemeen

Naast empirisch bepaalde normen kan ook van modellen gebruik worden gemaakt om de afvoerintensiteiten van een gebied te bepalen en daaruit de maatgevende afvoeren af te leiden.

De mogelijkheden hiertoe hangen af van de beschikbare gegevens zoals neerslag en verdamping, afvoergegevens (maalstaten, peilen, drainafvoeren, grondwaterstanden) en karakteristieken van de afvoerstelsels (doorlatendheden, bergingsmogelijkheden, kwel en dergelijke).

Ingeval summiere meetgegevens beschikbaar zijn, dienen eerst de afvoercharacteristieken bepaald te worden, waarna de afvoerintensiteiten uit neerslaggegevens gereconstrueerd kunnen worden. Bij deze werkwijze wordt vaak gebruik gemaakt van niet-stationaire modellen, van bijvoorbeeld *De Jager* (1965) (reservoircoëfficiënt) of *De Zeeuw-Hellinga* (1958) (reactiefactor). Door deze grootheden te koppelen aan gebiedskenmerken en ontwateringsintensiteiten, kan de relatie tussen het ontwaterings- en het afwateringsstelsel in het ontwerp van beide stelsels tot uitdrukking worden gebracht.

Methode De Jager

Deze methode wordt vooral toegepast in hellende gebieden met ongestremde lozing. De afvoercharacteristiek bestaat uit een als constant te beschouwen "basisafvoer", een reservoircoëfficiënt (j) voor de snelle afvoer, en het percentage van de oppervlakte dat aan de snelle afvoer deelneemt.

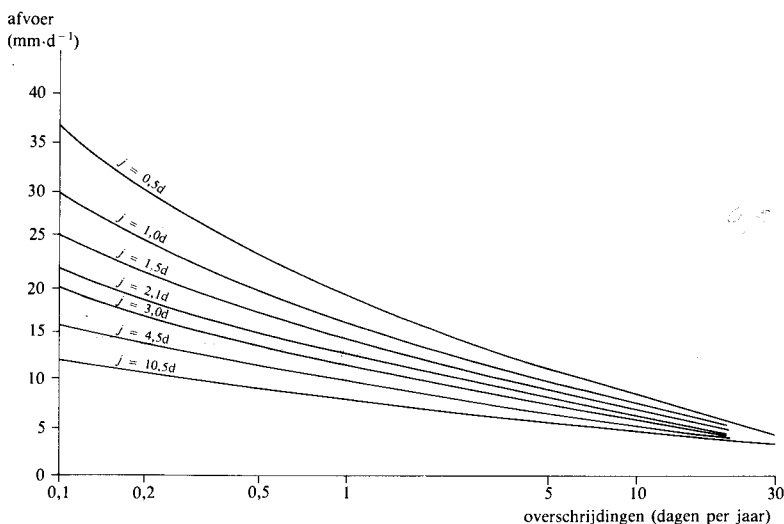
Onder verwaarlozing van de radiale- en intreeweerstand wordt de reservoircoëfficiënt j gedefinieerd als:

$$j = \frac{\mu L^2}{\pi^2 KD}$$

waarin:

μ = bergingscoëfficiënt	(-)
L = drain- of slootafstand	(m)
KD = doorlaatvermogen	(m ² · d ⁻¹)

Op basis van een lange reeks neerslaggegevens zijn met behulp van de formule van Krayenhoff van de Leur voor verschillende j -waarden lange reeksen afvoeren berekend. Van elke reeks is de frequentie van de afvoeren bepaald (fig. 4.2.4).



Figuur 4.2.4. Frequentiediaagram overeenkomstig het diagram van De Jager

Bij het bepalen van de afvoerarakteristiek van een gebied is het noodzakelijk de tijdsintervallen van de neerslag waaruit afvoeren worden berekend, aan de j -waarde aan te passen. Als vuistregel kan gelden dat het tijdsinterval ca. $1/3$ à $1/4$ moet bedragen van de j -waarde van het systeem.

Methode De Zeeuw-Hellinga

Deze methode wordt vooral toegepast in vlakke gebieden met bemaling. Ingeval de radiale- en intreeweerstand sterk overwegen boven de horizontale weerstand verdient deze methode de voorkeur.

De methode karakteriseert een gebied door een reactiefactor (α) die uit afvoergolven bepaald kan worden. De afvoer wordt uiteengerafeld in deelafvoeren, die ieder een eigen reactiefactor bezitten en die daardoor verschillend snel op de neerslag reageren.

Het afvoerproces kan worden beschreven door:

$$q_t = q_{(t-1)} \cdot e^{-\alpha t} + n_t (1 - e^{-\alpha t})$$

waarin:

q_t = afvoer op tijdstap t	($m \cdot d^{-1}$)
n_t = effectieve neerslag op tijdstap t	($m \cdot d^{-1}$)
t = tijdstap	(d)
α = reactiefactor	(d^{-1})

Vergelijking van beide methoden

Hoewel bij de methode De Jager van een ander stromingstype uitgegaan wordt als bij de methode De Zeeuw-Hellinga, blijken de verschillen in uitkomsten bij praktische toepassing gering. Bij benadering geldt dat $j = 1/\alpha$.

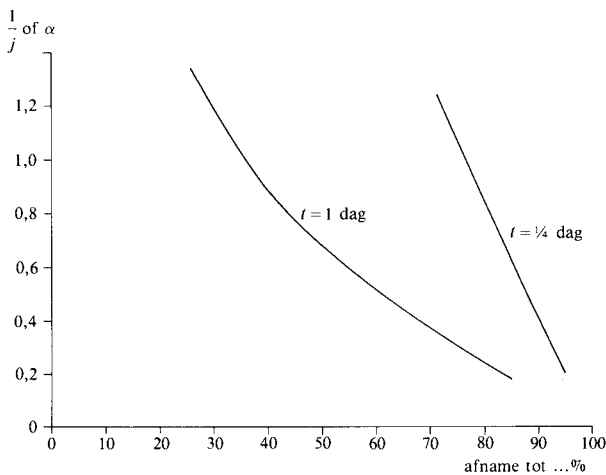
De grootheden j en α worden meestal uit het verloop van afvoeren en grondwaterstanden bepaald. Dit wordt dan uitgevoerd in perioden zonder neerslag en met weinig verdamping volgend op een regenrijke periode, waarin van een zogenaamde uitputtings- of staartverloop sprake is.

De α of j waarde is te bepalen uit:

$$\alpha = \frac{1}{j} - = \frac{2,3 (\log q_t - \log q_{(t-1)})}{t}$$

Uit de afname van de afvoer in de tijd kan uit figuur 5 de α of j waarde afgelezen worden.

Figuur 4.2.5.
Het verband tussen de afname van de afvoer in de tijd (t) en de α of $1/j$ waarde.



In tabel 4.2.4 zijn enkele waarden voor α en j weergegeven zoals deze uit afvoermetingen afgeleid zijn (*Landbouwhogeschool, 1975*).

Tabel 4.2.4. Waarden voor α en j

α (d ⁻¹)		j (d)		Afvoertype
500	- 700	0,0014	- 0,002	afvoer van 1000-4000 m ² verhard oppervlak
100	- 200	0,005	- 0,01	oppervlakte afvoer van sterk hellend terrein
1	- 10	0,1	- 1,0	oppervlakte afvoer; afvoer van gronden met zeer ondiep gelegen ondoorlatende lagen
0,3	- 0,7	1,5	- 3,0	gedraineerde goed ontwaterde landbouwgrond
0,03	- 0,07	15	- 30	slecht ontwaterd grasland met dichtgegroeide sloten ('moerasafvoer')
0,0005	- 0,0003	300	- 2000	afvoer van kwelwater uit hoge, zeer doorlatende terreinen (Veluwe, Z-Limburg)

4.2.6. De samenhang tussen het ontwaterings- en het afwateringsstelsel

De transportcapaciteit van het waterlopenstelsel en het gemaal moeten, rekening houdend met de afvoeren van het niet-agrarisch gebied en met benutting van de bergingsmogelijkheden van de grond en het open water, afgestemd zijn op de afvoerintensiteiten van het ontwateringsstelsel (sloten en/of drainage).

De afvoerintensiteiten van het ontwateringsstelsel kunnen afgeleid worden uit de door *Wesseling* (1969) op de grafiek van *De Jager* (1965) gebaseerde vergelijking voor het drainageontwerp:

$$\frac{s}{m} = \frac{8}{\pi^2} \cdot \frac{1}{a} \cdot \mu^{1-b} \cdot m^{-b}$$

waarin de relatie tussen het drainagecriterium (s/m), de bergingscoëfficiënt (μ) en de hoogst toelaatbare opbolling (m) bij een zekere overschrijdingsfrequentie (a en b) tot uitdrukking gebracht is. (Zie par. III. 4.1.4 Ontwateringsnormen).

De afvoerintensiteit die optreedt bij de met een zekere frequentie hoogst toelaatbare grondwaterstand en de draindiepte kunnen de randvoorwaarden van afvoer en drooglegging voor het waterlopenstelsel vormen (*Dekker*, 1983). Op dit moment ontbreekt echter een goed inzicht in de toelaatbare grondwaterstanden bij verschillende frequenties. Voor het verkrijgen van dit inzicht dienen nog uitvoerige modelberekeningen en praktijktoetsingen (HELP onderzoek) te worden uitgevoerd. Vooralsnog worden ontwaterings- en afwateringsstelsels dan ook afzonderlijk ontworpen op de wijze zoals in deel III en deel V van dit Vademecum is beschreven.

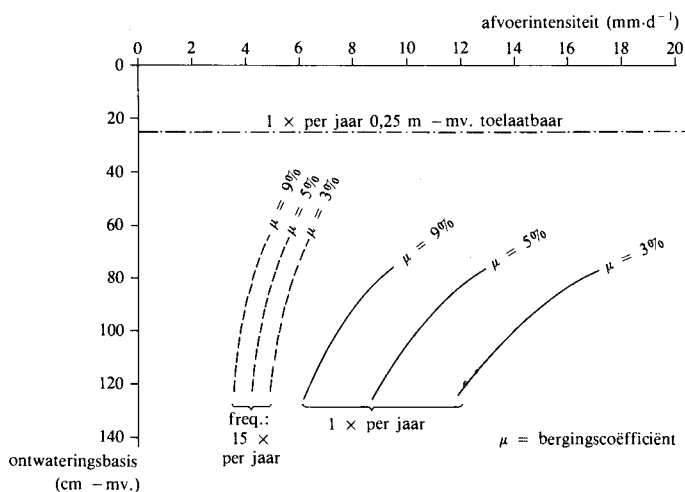
Ter illustratie van een samenhangend ontwerp van het ontwaterings- en het afwateringsstelsel is in de figuren 4.2.6a en 4.2.6b, uitgaande van twee willekeurig gekozen ontwerpcriteria, de relatie weergegeven tussen de ontwateringsbasis, de bergingscoëfficiënt en de afvoerintensiteiten.

De hoogst toelaatbare grondwaterstand bij een zekere overschrijdingsfrequentie, de draindiepte of ontwateringsbasis en de benodigde afvoerintensiteit van zowel het ontwaterings- als het afwateringsstelsel vormen een samenhangend geheel.

- Dieper draineren, mits landbouwkundig toelaatbaar, betekent meer bergingsmogelijkheden, grotere drainafstand en een lagere afvoerfactor.
- Ondieper draineren betekent weinig berging, nauwe drainafstand en een hogere afvoerfactor bij wat geringere droogleggingseisen.

Deze samenhangende factoren kunnen niet onafhankelijk van elkaar gewijzigd worden zonder de technische en economische aspecten van het plan aan te tasten.

Door het opstellen van alternatieven kan optimalisatie van het plan plaatsvinden.

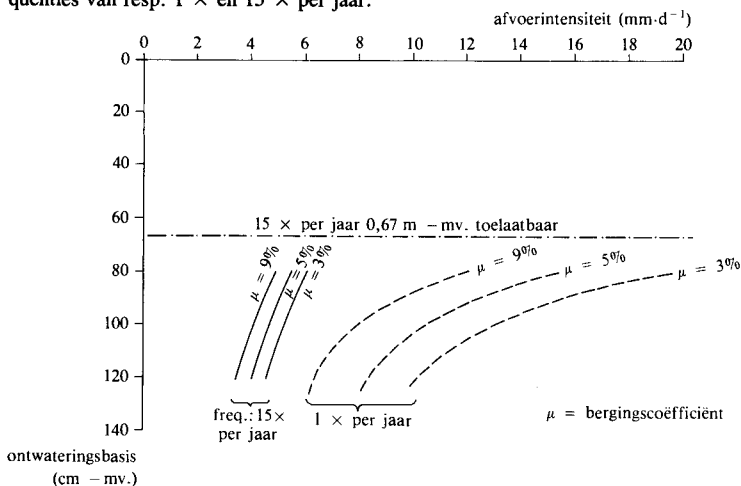


Figuur 4.2.6a. De relatie tussen de afvoer, de ontwateringsbasis of draaindiepte, en de bergingscoëfficiënt bij een ontwerpcriterium gebaseerd op een 1 x per jaar hoogst toelaatbare grondwaterstand van 0,25 m -mv.

Voorbeeld:

Bij een ontwateringsbasis van 1,00 m -mv en een bergingscoëfficiënt van 5% wordt 1 x per jaar een afvoerintensiteit van $10,4 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$ en 15 x per jaar een afvoerintensiteit van $4,5 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$ bereikt of overschreden. Bij een 0,20 m diepere ontwateringsbasis nemen de afvoerintensiteiten af tot $9,0 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$ en $4,2 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$ bij frequenties van resp. 1 x en 15 x per jaar.

Een 0,20 m ondiepere ontwateringsbasis leidt tot afvoerintensiteiten van $12,4 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$ en $5,0 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$ bij frequenties van resp. 1 x en 15 x per jaar.



Figuur 4.2.6b. De relatie tussen de afvoer, de ontwateringsbasis of draaindiepte en de bergingscoëfficiënt bij een ontwerpcriterium gebaseerd op een 15 x per jaar hoogst toelaatbare grondwaterstand van 0,67 m -mv

4.2.7. Literatuur

- Dekker, K., 1983
Een samenhangend ontwerp voor het ontwaterings- en het afwateringsstelsel. Interne notitie Landinrichtingsdienst.
- Jager, A.W. de, 1965
Hoge afvoer van enige Nederlandse stroomgebieden. Dissertatie, Pudoc Wageningen.
- Landbouwhogeschool, 1975
Diktaat Waterbeheersing, Deel 1 Tekst, Wageningen.
- Landinrichtingsdienst, 1978
Beknopt overzicht peilvaststelling in de provincie Noord-Brabant. Landinrichtingsdienst Tilburg.
- Ministerie van Landbouw en Visserij, 1988
Aanleg en onderhoud van drainage. Vlugschrift voor de Landbouw nr. 361.
- Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders, 1978
De Waterbeheersing van Almere. Rapport 1978-37Abw. Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders.
- Werkgroep Afvoerberekeningen, 1979
Richtlijnen voor het berekenen van afwateringsstelsels in landelijke gebieden.
- Werkgroep Inventarisatie Waterbeheersing, 1978
Inventarisatie van de Waterbeheersing. Landinrichtingsdienst, Utrecht.
- Wesseling, J., 1969
Bergingsfactor en drainagecriterium. Meded. 118. Instit. voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Wageningen.
- Wesseling, J., 1982
Ontwerpnormen en kosten van overdimensionering van open waterlopen. Nota 1361. Instit. voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding,
- Zeeuw, J.W. de, en F. Hellinga, 1958
Neerslag en Afvoer. Landbouwkundig tijdschr. Jrg.70 :p.405-422.

4.3. Watervoorziening

4.3.1. Inleiding

Onder de klimatologische omstandigheden zoals die zich voordoen in Nederland bestaat er een teveel aan water gedurende de winterperiode. In het zomerhalfjaar komen echter perioden voor met een tekort aan neerslag. Bovendien is dan de verdamping hoog. Voor het bedrijven van landbouw moet onder deze omstandigheden een zekere regulering worden toegepast, die wordt aangegeven met het begrip waterbeheersing. Deze regulering bestaat over het algemeen gesproken uit het nemen van maatregelen ter verwijdering van overtollig water in de winter en de aanvoer van water c.q. het tegengaan van afstroming in de zomer. Indien het handhaven van polder- of stuwpeilen niet voldoende is om aan de waterbehoefte van een gebied te voldoen, kan worden overgegaan tot beregening of bevoeiing. Een uitgebreide beschrijving van de waterhuishouding van Nederland kan worden gevonden in de nota Waterhuishouding (*Rijkswaterstaat*, 1985).

Van oudsher is in ons land veel aandacht besteed aan de ontwatering en afwatering. Deze is voor de moderne landbouw niet alleen nodig om schade als gevolg van wateroverlast aan bodem en gewas te voorkomen, maar ook om de grond bewerkbaar te maken en bijvoorbeeld vertrapping door vee te voorkomen.

Gerekend kan worden dat zo'n 45% van de jaarlijkse neerslag van gemiddeld 750 mm wordt afgevoerd.

De wateraanvoer in zomerperioden is in de laaggelegen poldergebieden reeds van oude datum. Voor het handhaven van polderpeilen en het doorspoelen van boezems en polders worden grote hoeveelheden water gebruikt.

In de hooggelegen delen is sinds de dertiger jaren veel aandacht besteed aan het bouwen van stuwen om de wateraanvoer in droge perioden te regelen. Mede in verband met de bescherming van natuurgebieden zijn de problemen in dit type gebieden doorgaans gecompliceerd.

Onder invloed van de intensivering van de landbouw en een aantal droge jaren in de zeventiger jaren is de wateraanvoerbehoefte steeds toegenomen. Uit een uitgebreide inventarisatie in het zeer droge jaar 1976 (*Van Boheemen en De Wilde*, 1979) is het watergebruik in de landbouw in dat jaar bekend (tabel 4.3.1). Vanwege het extreme karakter van dat jaar zijn deze gegevens echter niet representatief voor het gemiddelde watergebruik in de landbouw. Verdere gegevens over huidig en toekomstig watergebruik door de landbouw zijn te vinden in *Studiecommissie Waterbehoefte Land- en Tuinbouw*, (1980) en *Unie van Waterschappen* (1977).

Afvoer van water geschiedt, al of niet via gemalen door sloten, beken en rivieren naar de zee. Wateraanvoer van betekenis in droge perioden is alleen mogelijk vanuit de Rijn en de daarmee verbonden reservoirs als het IJsselmeer. Een uitgebreide rapportage over de mogelijke waterverdeling wordt gegeven in de rapporten van de PAWN (*Rijkswaterstaat*, 1982/83), waarbij ook wordt ingegaan op andere belangen bij de waterhuishouding.

Tabel 4.3.1. Het watergebruik voor de landbouw in 1976 in miljoenen m³ in gebieden met en zonder aanvoer van oppervlaktewater.

Gebieden	Oppervlaktewater (10 ⁶ m ³)				Grondwater (10 ⁶ m ³)		
	berekening open grond	bevloeiing open grond	berekening en bevloeiing glastuinbouw	overige peil-beheer	berekening open grond	bevloeiing open grond	berekening en bevloeiing glastuinbouw
met aanvoer	302	95	23	944	56	4	3
zonder aanvoer	64	12	-	-	234	2	0
totaal	366	107	23	944	290	6	3

4.3.2. Waterconservering

Er worden in Nederland diverse methoden toegepast om een eventueel watertekort van de vegetatie in de zomer te verminderen. Er worden teeltmaatregelen (bijvoorbeeld onkruidbestrijding) toegepast die een onnodig verlies van bodemvocht beperken. In sommige gevallen kan hetzelfde worden bereikt met bodemtechnische maatregelen (bijvoorbeeld het mengwoelen van veenkoloniale gronden). Hier wordt onder de methode van waterconservering de methode verstaan waarmee de normale afvoer van water gedurende een groeiseizoen zoveel als verantwoord is, wordt beperkt.

In hoeverre een beperking van de afvoer mogelijk is, hangt sterk af van de hoogteligging (reliëf) van het betrokken gebied. In vlakke gebieden kan men door het plaatsen van stuwen de afvoer door de waterlopen geheel tegengaan. Dit leidt tot een stijging van het peil in de waterlopen en vervolgens tot een verminderde daling van de grondwaterstand. Er moet echter worden voorkomen dat in perioden met een neerslagoverschot wateroverlast ontstaat, veroorzaakt door te sterk stijgende grondwaterstanden. In de praktijk zal het verschil tussen zomer- en winterpeil niet meer dan ongeveer 30 cm bedragen.

Ook in hellende gebieden bestaat de mogelijkheid water te conserveren. Door middel van stuwen kan de afvoer van water worden verminderd. Door de keuze van plaats en hoogte van de stuwen kan de opstuwing en daarmee de grondwaterstandsverhoging aan de plaatselijke omstandigheden worden aangepast. Het zal dikwijls nodig zijn de hoogte van de opstuwing te beperken om geen wateroverlast te veroorzaken. Een zekere afvoer van water uit het gebied is dan ook niet altijd te vermijden. In het algemeen zijn diverse omstandigheden van invloed, zoals de toevoer van water uit het bovenstroomse gebied, de toevoer door laterale waterlopen en de beïnvloeding van het peil van deze laterale waterlopen.

De mogelijkheden tot waterconservering in een seizoen zijn afhankelijk van de meteorologische omstandigheden van de voorafgaande winterperiode. Zo zal het effect van waterconservering na natte winters geringer zijn dan na droge winters, omdat de berging in een gebied na een natte winter later in het seizoen wordt aangesproken dan na een droge winter.

De hoeveelheid water die geconserveerd kan worden na normale of droge winters, is sterk afhankelijk van de neerslaghoeveelheid in de zomer.

Met behulp van modellen is het mogelijk een kwantitatieve indruk te geven van extra waterberging in de bodem die kan voortvloeien uit het verhogen van stuwpeilen. Zo is een analytisch computersimulatiemodel ontwikkeld (Stuyt, 1984), gebaseerd op een door Ernst ontwikkelde theorie waarin de ontwatering van hellende zandgebieden wordt beschreven.

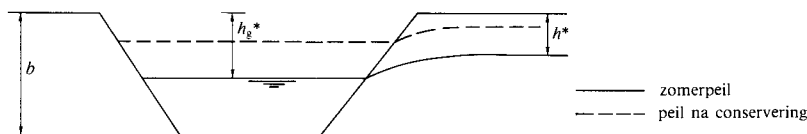
Genoemde theorie houdt rekening met een aantal factoren die niet zijn opgenomen in de gebruikelijke drainagetheorieën, zoals verschillen in afmeting van waterlopen, open waterpeilen, drainagedichtheden en het niet evenwijdig lopen van de waterlopen.

Het opzetten van de peilen wordt in dit model ingebracht door de waarde B , de verhouding tussen de waterdiepte in de waterloop en de gemiddelde grondwaterstand, groter te maken. De factor B is gedefinieerd als:

$$B = \frac{b - h_g^*}{b - h^*} \quad (4.3.1)$$

waarin:

b	= diepte waterloop	(m -mv)
h_g^*	= diepte waterspiegel in waterloop	(m -mv)
h^*	= gemiddelde grondwaterstand	(m -mv)



In theorie kan B variëren van nul (waterloop niet watervoerend) tot één (open waterpeil = gemiddelde grondwaterstand).

Bij de berekeningen van de effectiviteit van het opzetten van peilen is de nu volgende vereenvoudigde waterbalans voor grondwater als uitgangspunt genomen:

effectieve neerslag = basisafvoer + capillaire opstijging + verandering berging grondwaterreservoir.

Uit studies met dit model blijkt dat het opzetten van stuwpeilen in bepaalde gevallen een bruikbaar instrument kan zijn om droogteschade in de zomer tegen te gaan. De vraag onder welke omstandigheden dit werkelijk het geval is, kan slechts worden beantwoord indien het model wordt toegepast voor een bepaald gebied, op basis van de daar geldende gegevens zoals kD -waarden, dimensies van waterlopen, de aanwezigheid van drainagestelsels etc.

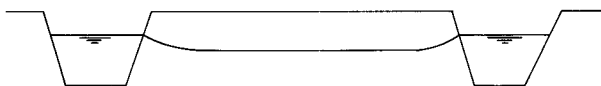
Het effect van waterconservering op de gewasverdamping is sterk afhankelijk van het bodemtype en het al of niet aanwezig zijn van kwel. In het rapport "Wateraanvoer naar het Herinrichtingsgebied" (*Werkgroep Wateraanvoer*, 1983), wordt berekend dat waterconservering voor een gemengwoelde veenkoloniale grond, een toename van de gewasverdamping oplevert van 11 mm.

Voor een veengrond met een kwelintensiteit van $1 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$ wordt een toename van de seizoensverdamping berekend van 19 mm. Het betreft overigens de gemiddelde waarde over de periode 1981-1982. Deze toename van de gewasverdamping wordt vrijwel volledig tijdens het begin van het groeiseizoen bereikt. De hogere grondwaterstanden die bij waterconservering in deze periode optreden, kunnen in de loop van het groeiseizoen niet gehandhaafd worden. Om in droge jaren ook later in het groeiseizoen hogere grondwaterstanden te kunnen realiseren, is meer nodig.

Waterconservering kan ook een oplossing bieden bij waterkwaliteitsproblemen. Wanneer, in gevallen van watertekorten in de zomer, gekozen wordt voor extra wateraanvoer kunnen problemen ontstaan. Immers, het extra aangevoerde water is ook "gebiedsvreemd" water en daardoor van een andere kwaliteit. In veel gevallen betreft het Rijnwater, dat veel voedingsstoffen bevat en/of een andere hardheid heeft. Voedselarme natuurgebieden kunnen hierdoor nadelig beïnvloed worden. Conservering kan dan een (gedeeltelijk) alternatief voor wateraanvoer vormen.

4.3.3. Infiltratie

Aanvullende watervoorziening door middel van infiltratie vindt plaats door de aanvoer van water naar een slotenstelsel waaruit tegelijkertijd de afvoer geheel of voor een belangrijk deel wordt tegengegaan. Het is in feite een extreme vorm van waterconservering. Er ontstaat een stijging van het slootpeil tot boven de stijghoogte van het grondwater in het betrokken gebied, zodat het slootwater in de grond moet infiltreren. In gebieden met een enkelvoudig watervoerend pakket, waar wegzijging of kwel nauwelijks kunnen optreden, maar ook in gebieden met wegzijging naar een dieper watervoerend pakket, veroorzaakt dit een omkering van de richting van de grondwaterstroming. In gebieden met kwel leidt dit tot een versterking van de capillaire opstijging. Onder alle omstandigheden wordt daarmee bereikt, dat de berging in het diepere deel van de onverzadigde zone niet verder afneemt, maar daarentegen, met een stijging van de grondwaterstand, gaat toenemen. In het begin van de infiltratieperiode zal er nog weinig invloed zijn op het hogere deel van de onverzadigde zone. Op een zeker moment wordt een evenwicht bereikt tussen de invoer en de som (c.q. het verschil) van de capillaire opstijging aan de onderkant van de wortelzone en de wegzijging naar (c.q. de kwel uit) een dieper watervoerend pakket. Infiltratie is een indirecte manier van watervoorziening. Hierbij zijn veelal extra kosten nodig ten behoeve van aanpassingen aan (en onderhoud van) de waterlopen, kunstwerken en gemalen. In tegenstelling tot bijvoorbeeld beregening zijn de kosten op bedrijfsniveau echter nihil.



Figuur 4.3.1. Schematische voorstelling van het infiltratie principe

In het rapport "Wateriaanvoer naar het Herinrichtingsgebied" wordt voor het simuleren van de hydrologische processen in een bodemprofiel gekozen voor een numeriek model voor niet-stationaire stroming van bodemvocht, het SWATRE-model (*Belmans e.a.*, 1981). Elementaire waterbalansberekeningen worden verricht aan een in discrete compartimenten opgesteld profiel dat uit meerdere bodemhorizonten kan bestaan, voor iedere horizont moet een pF-curve en een $k(h)$ -relatie aangegeven worden.

De grondwaterstroming heeft hier twee componenten:

- lokale stroming : drainage van het grondwater naar het ontwateringsmiddel;
infiltratie wanneer water wordt aangevoerd tijdens de zomer;
- regionale stroming: lager gelegen gronden worden veelal gevoed door kwel vanuit de ondergrond; hoger gelegen gronden zijn meestal onderhevig aan wegzijging.

De lokale grondwaterstroming wordt berekend met de formule van Ernst:

$$i = (h_w - h_g) \cdot T \quad (4.3.2)$$

waarin:

i	= infiltratie	(m · d ⁻¹)
h_w	= peil in de waterloop	(m)
h_g	= grondwaterstand midden tussen waterlopen	(m)
T	= drainage/infiltratieweerstand	(d)

De kwel of wegzijging wordt eenvoudig bij de lokale stroming opgeteld.

In vlakke gebieden wordt wegens de geringe stroomsnelheid de opstuwung in de waterlopen verwaarloosd.

Het effect van berging wordt gesimuleerd door per tijdstip, naast de berekening van de stroming in de bodem tevens een waterbalans op te stellen voor het open water:

$$h_w \cdot (t + dt) = h_w(t) + t [(a + 1)/(f_{ow} + P - E_o)] \quad (4.3.3)$$

waarin:

$h_w(t)$	= wijk- of slootpeil op tijdstip t	(m)
dt	= tijdstap	(d)
a	= aanvoer	(m · d ⁻¹)
i	= infiltratie	(m · d ⁻¹)

f_{ow}	= oppervlakte-fractie die door open water wordt ingenomen als functie van h_w (bij niet loodrechte taluds neemt f_{ow} toe met h_w)	(-)
P	= neerslag	($m \cdot d^{-1}$)
E_o	= verdamping van open water	($m \cdot d^{-1}$)

Voor verdere details van het model wordt verwezen naar de literatuur.

Ondanks grote verschillen in bodemfysische eigenschappen blijken de infiltratie-effecten voor de verschillende profielen in orde van grootte ongeveer gelijk te zijn. Gemiddeld over de periode 1971 tot en met 1982 worden, afhankelijk van de gekozen aanvoercapaciteit, effecten van 2-9 mm per groeiseizoen berekend. De lage effectiviteit van infiltratie van circa 10% is in overeenstemming met de eerder genoemde indirecte manier van watervoorziening. De overige 90% van de aanvoer vindt men aan het eind van het groeiseizoen terug als extra berging in de waterlopen en in de grond.

In het waterschap De Veenmarken, gelegen in de Drentse Veenkoloniën, is voor het jaar 1983 nagegaan of het gevoerde peilbeheer gebaseerd op waterconservering en watervoorziening door middel van infiltratie overeenstemde met het theoretisch berekende optimale beheer (*Van Bakel*, 1983).

Met behulp van de toegepaste modelberekening kunnen de effecten van waterconservering en infiltratie afzonderlijk worden bepaald. Geconcludeerd wordt dat zelfs in een jaar als 1983 met een extreme neerslagverdeling (zeer nat van medio maart tot eind mei, gevolgd door een extreem droge periode van begin juni tot medio september) in de praktijk een peilbeheer gevoerd kan worden dat de resultaten van het berekende optimale peilbeheer voor 80 à 90% benadert. Waterconservering leverde in 1983 een verhoging van de gewasverdamping op van 6 à 11 mm, waaraan door infiltratie nog 23 à 40 mm werd toegevoegd. Essentieel voor een goed peilbeheer is een koppeling van het beheer aan de hydrologische werkelijkheid (grondwaterstanden en afvoeren).

Uit de nota "Watervoorziening waterschap de Aa" (*Waterschap de Aa*, 1980) blijkt dat voor een groot voorzieningsgebied volstaan kan worden met een aanvoerfactor van gemiddeld $1/6 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$ per ha.

Proefnemingen in een gebied dat representatief werd geacht voor het gehele waterschapsgebied hebben geleerd dat via het bestaande waterlopenstelsel circa $0,7 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$ in de bodem infiltreert.

Aangenomen is verder dat van de voor watervoorziening bereikbare gronden in de toekomst circa 25% beregend gaat worden uit het oppervlaktewater.

Bij een berekening van $3 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$ is hiervoor $0,75 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$ nodig.

Infiltratie en beregening uit het oppervlaktewater samen vergen aldus de bovengenoemde $1/6 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$ per ha.

Uitgaande van de algemene aanname dat voor de vochtvoorziening van het gewas $1/3 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$ per ha noodzakelijk is, zou het stelsel van infiltrerende watergangen met minstens 100% moeten worden vergroot of het percentage beregening met oppervlaktewater moeten stijgen tot 75. Beide opties worden als niet reëel beschouwd.

4.3.4. Berekening

Inleiding

Na 1970 heeft een sterke uitbreiding van de berekening plaatsgevonden. Bedroeg het aantal installaties in dat jaar circa 6.000, in 1976 was dit toegenomen tot circa 11.500 en in 1977 tot ruim 18.000. Tabel 4.3.2 geeft een overzicht van de oppervlakte cultuurgrond met beregenings- of bevoeiingsmogelijkheden in 1983 (in ha en in procenten), alsook het percentage cultuurgrond dat in 1976 daadwerkelijk is beregend of bevoeid.

Tabel 4.3.2. Totale oppervlakte cultuurgrond in 1983 (ha); oppervlakte cultuurgrond welke in 1983 met de ter beschikking staande hulpmiddelen kan worden beregend of bevoeid (ha en %) en het percentage werkelijk beregende of bevoeide cultuurgrond in 1976.

Provincie	Totale opp. cultuurgrond in 1983(ha)	Opp. cultuurgrond* in 1983 welke kan worden beregend of bevoeid		Werkelijk beregende of bevoeide opp. cultuurgrond* in 1976 in % van de totale opp. in 1976
		in ha	in % van de totale opp.	
Groningen	174.522	28.765	16,5	2,6
Friesland	228.935	44.475	19,4	10,7
Drenthe	168.846	7.150	4,2	3,7
Overijssel	205.405	30.603	14,9	10,4
Gelderland	253.914	73.536	30,0	19,3
Utrecht	67.317	30.960	46,0	15,3
Noord-Holland	140.917	85.564	60,7	24,8
Zuid-Holland	152.572	33.875	22,2	14,3
Zeeland	125.477	677	0,5	0,3
Noord-Brabant	272.259	94.341	34,7	14,5
Limburg	110.993	27.957	25,2	14,8
Noordoostpolder	38.814	29.163	75,1	46,4
Zuidelijke IJsselmeerpolders	59.917	16.611	27,7	
Nederland	1.999.887	503.676	25,2	12,4

* Exclusief onder glas.

Bronnen: CBS-landbouw telling, mei 1976, idem mei 1983; *De Wilde en Linthorst* (1978).

Een belangrijk deel van de berekening vindt in het westen, midden en zuiden van het land plaats. In Groningen en Zeeland zijn de mogelijkheden voor berekening beperkt door het ontbreken van goed grond- of oppervlaktewater.

Beregeningsinstallaties

Soorten van installaties

De soorten van installaties en de bedrijfstypen waar ze meestal aangetroffen worden, zijn vermeld in tabel 4.3.3. In figuur 4.3.2 is de werking van de verschillende installaties schematisch weergegeven.

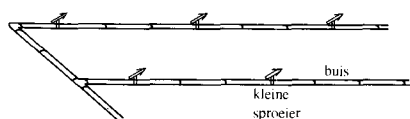
Tabel 4.3.3. Soorten van installaties en hun toepassingen.

Soort installatie	Toepassing
buis	extensieve akkerbouw en groenteteelt op matig droogtegevoelige grond
buis-slang	grasland op matig droogtegevoelige grond
buis-slang met haspelwagen	grasland op droogtegevoelige grond
slang-slang met haspelwagen	grasland op (sterk) droogtegevoelige grond
slang met grote sproeier en haspel	grasland op matig droogtegevoelige grond
slang met kleine sproeiers op haspel (systeem Baars)	grasland op (sterk) droogtegevoelige grond
draaiende boom	intensieve akkerbouw, conserventeelten op grote rechthoekige percelen
haspelinstallatie	grasland en akkerbouw op grote rechthoekige percelen op droogtegevoelige en wat akkerbouw betreft op weinig structuurgevoelige gronden
haspelinstallatie met getrokken sproeiboom	intensieve akkerbouw, groente- en bollenteelt op droogtegevoelige en/of structuurgevoelige gronden op grote rechthoekige percelen vooral in gebieden met weinig windbeschutting
vaste sproeieropstelling op telescoophydranten	intensieve groente- en aardbeienteelt op (sterk) droogtegevoelige gronden
druppelinstallaties	fruitteelt, vollegrondstuinbouw en kasteelten

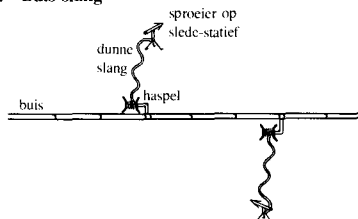
De keuze van de type regeninstallatie wordt bepaald door de volgende factoren:

- beschikbaarheid van water en de kwaliteit daarvan;
- gewenste hoeveelheid water per keer beregenen;
- frequentie van beregenen;
- te beregenen oppervlakte;
- te beregenen gewassen;
- vorm en oppervlakte van de te beregenen percelen;
- de structuurgevoeligheid van de bodem (slemp);
- eventuele toepassing van fertigatie (toediening van kunstmeststoffen middels de beregeningsinstallatie);
- beschikbare arbeid;
- de kosten en de meeropbrengsten in geld.

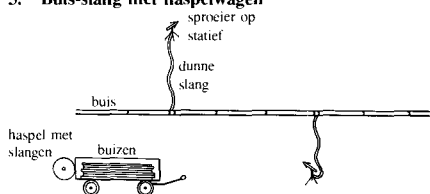
1. Buis



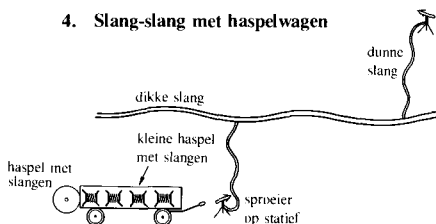
2. Buis-slang



3. Buis-slang met haspelwagen



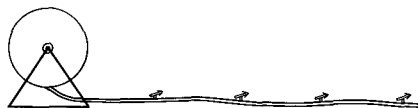
4. Slang-slang met haspelwagen



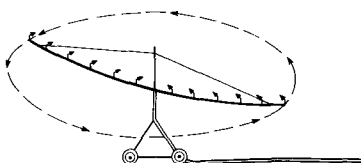
5. Slang met grote sproeier en haspel



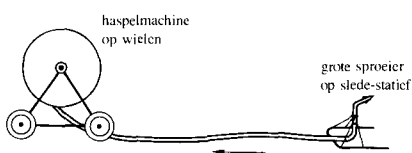
6. Slang met sproeiers op haspel



7. Draaiende boom



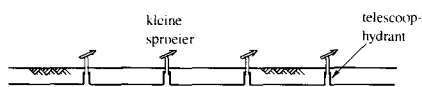
8. Haspelinstallatie



9. Haspelinstallatie met getrokken sproeiboom



10. Vaste sproeieropstelling op telescoophydranten



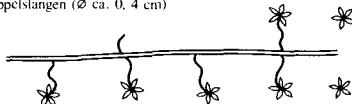
11. Druppelbevloeiing met druppeldoppen

A. druppeldoppen (Ø ca. 3 cm)



12. Druppelbevloeiing met druppelslangen

B. druppelslangen (Ø ca. 0,4 cm)



Figuur 4.3.2. Schematische weergave van de werking van verschillende beregningsinstallaties

Arbeidsbehoefte

De geschatte arbeidsbehoefte en investeringen voor de verschillende soorten van installaties zijn vermeld in tabel 4.3.4.

Tabel 4.3.4. Geschatte arbeidsbehoefte en investering bij berekening.

Soort installatie	Arbeids- behoefte per keer berege- nen(manuren)	Aantal draaiuren per op- stelling	Investering excl. pomp, put en aanvoerlei- ding in f/ha*
buis	2,0	3 - 5	500 - 600
buis-slang	1,6	3 - 5	600 - 800
buis-slang met haspelwagen	1,2	3 - 5	700 - 900
slang-slang met haspelwagen	0,8	3 - 5	700 - 1.000
slang met grote sproeier en haspel	0,7	1 - 3	500 - 800
slang met kleine sproeiers op haspel (systeem Baars)	0,8	3 - 5	600 - 900
draaiende boom	0,8	3 - 5	900 - 1.200
haspelinstallatie tot 35 m ³ /h	0,2 - 0,3	10 - 24	1.000 - 1.800
haspelinstallatie vanaf 35 m ³ /h	0,3 - 0,5	6 - 12	1.200 - 2.000
haspelinstallatie met getrokken sproeiboom van 24 m	0,3 - 0,5	10 - 24	1.650 - 2.450
haspelinstallatie met getrokken sproeiboom van 37 m	0,3 - 0,5	10 - 24	1.900 - 2.700
vaste sproeieropstelling op telescoophydranten	0,1	0 - 5	9.500
druppelinstallatie	0,1	4 - 12	5.000 - 8.000

* Prijspeil 1982

Capaciteit van de installatie

De benodigde capaciteit van de installatie hangt af van de te beregenen oppervlakte, de grondsoort, de gewassen en het type van installatie. Onderstaand zijn voor verschillende gewasgroepen normen gegeven voor de benodigde capaciteit per ha per uur voor conventionele installaties (installaties die elke 3 à 5 uur verplaatst worden):

- granen en peulvruchten 1 - 1,5 m³;
- grove groenten, hakvruchten en gras 1,5 - 2,5 m³;
- bladgroenten, aardbeien, boomgaarden 3 - 4 m³.

Het maximale aantal effectieve werkuren per etmaal is:

- voor conventionele installaties 12 - 15 uur;
- voor haspelinstallaties 20 - 22 uur.

In de praktijk zal men het werkelijke aantal uren moeten berekenen door het opstellen van een arbeidsschema voor elk perceel en die samen te voegen tot een schema van alle te beregenen percelen.

Voorbeeld capaciteitsberekening

te beregenen oppervlakte 20 ha;

hoeveelheid water per 14 dagen 30 mm = 300 m³ per ha;

te beregenen oppervlakte per etmaal 20 : 10 = 2 ha (10 werkdagen per 14 dagen);

benodigde hoeveelheid water per etmaal 300 × 2 = 600 m³;

benodigde capaciteit per uur: bij 12 draaiuren per etmaal 600 : 12 = 50 m³ per uur;

bij 20 draaiuren per etmaal 600 : 20 = 30 m³ per uur.

Nauwkeuriger berekeningen kan men maken uitgaande van de kans op neerslagtekorten over een reeks van jaren en de hoeveelheid opneembaar water in de wortelzone. Voor hoogwaardige gewassen wordt het 10%-droog jaar veelal als maatgevend gebruikt.

Regenintensiteit

Een te hoge regenintensiteit kan structuurschade veroorzaken en een te lage intensiteit kan de beregeningsduur te lang maken. Behalve de intensiteit is ook de druppelgrootte en de valsnelheid van belang. De grote sproeiers met een capaciteit van 10 m³ per uur en meer geven de meeste risico's in het bijzonder op onbedekte grond.

De toelaatbare regenintensiteit is afhankelijk van de doorlatendheid en de structuurstabiliteit van de toplaag van de grond. Een globale indeling is als volgt:

Grondsoort	Maximale intensiteit in mm · h ⁻¹
slompige gronden	5
zavel- en kleigronden	8 - 12
zandgronden	12 - 20

De regenintensiteit van veel gebruikte systemen:

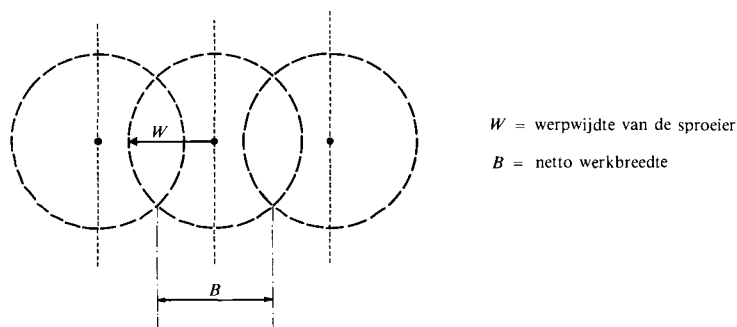
Beregeningssysteem	Regenintensiteit in mm · h ⁻¹
kleine rondgaande sproeiers	2 - 6
draaiende boom	7
kleine haspelmachine met 1 sproeier	7 - 10
middelgrote of grote haspelmachine	12 - 16

Technische gegevens van haspelmachines en sproeibomen

HASPELMACHINES

De aanvoerdruk bedraagt 8-12 bar, de maximale perceelslengte 300 m, de werkbreedte varieert van 30 tot 90 m.

De netto werkbreedte bedraagt onder normale omstandigheden 1,5 maal de werpwijde van de sproeier en onder ongunstige omstandigheden, bijvoorbeeld bij sterke wind, 1,1 maal de werpwijde (zie fig. 4.3.3).



Figuur 4.3.3. Netto werkbreedte van haspelmachines.

De grootte van de gift (h) wordt in hoofdzaak door aanpassing van de verplaatssnelheid (V) ingesteld.

GETROKKEN SPROEIBOMEN

Om de nadelen van de haspelmachine met één grote sproeier te voorkomen, zijn getrokken sproeibomen met kleine rondgaande sproeiers of met spuitdoppen ontwikkeld.

De voordelen zijn:

- veel betere waterverdeling;
- minder structuurbederf op onbedekte grond;
- lager energieverbruik (25-30% besparing);
- weinig windgevoelig.

Als nadelen gelden:

- hoge investering;
- beperkte werkbreedte (24-40 m bij spuitdoppen, 54 m bij sproeiers);
- iets grotere arbeidsbehoefte.

Tijdstip van beregening en grootte van de gift

Methoden ter bepaling van het tijdstip van beregening

METING OF SCHATTING VAN DE UITDROGING VAN DE GROND

De meting kan uitgevoerd worden met eenvoudige tensiometers op de diepte waarop de maximale wortelontwikkeling te verwachten is, bij grasland tussen 0 en 20 cm diepte, bij eenjarige gewassen meestal tussen 20 en 40 cm diepte. Bij tensiometers kan direct de vochtspanning afgelezen worden; een beperking is dat de meters het droge traject boven pF 2,9 (≈ 0.8 mbar) niet meer kunnen aangeven.

Elektronische vochtmeters zijn nog te kostbaar of te onbetrouwbaar om in de praktijk te voldoen. Voor onderzoeksdoeleinden komt de capacitieve methode (TFDL-Wageningen) in aanmerking. Hierbij wordt het vochtgehalte (vol. %) gemeten. IJking van elke sensor in elke bodemlaag blijft voorshands noodzakelijk.

Op lichte gronden is het goed mogelijk om tot een diepte van 40 cm met behulp van een monsterboor (gutsboor) een schatting op kleur en gevoel uit te voeren.

Op zavelgronden is het minder gemakkelijk door de binding van de fijne deeltjes. Op kleigronden is het niet mogelijk op deze manier te werken.

GEBRUIK MAKEN VAN VERDAMPINGSCIJFERS (REFERENTIEVERDAMPING)

Op gronden waar de capillaire opstijging te verwaarlozen is, kan het tijdstip van beregening worden bepaald door het opstellen van een waterbalans van de wortelzone. Hiervoor dient de neerslag, de gewasverdamping, de eventuele beregeningsgift en de maximale hoeveelheid opneembaar vocht in de wortelzone bekend te zijn.

De voor verdamping beschikbare hoeveelheid vocht in de wortelzone (V) op een bepaald tijdstip t wordt als volgt vastgesteld.

$$V_t = V_{t-1} + P + I - E_a \quad (\text{mm}) \quad (4.3.4)$$

waarin:

P = natuurlijke neerslag (mm)

I = beregeningsgift (mm)

E_a = actuele gewasverdamping (mm)

Indien V_t groter is dan de maximale hoeveelheid beschikbaar water in de wortelzone ($V_{\max}$) wordt V_t gelijk gesteld aan $V_{\max}$.

De actuele gewasverdamping kan worden benaderd aan de hand van door het Consulent-schap voor Bodemaangelegenheden in de Landbouw verstrekte waarden voor de referentieverdamping per dag.

$V_{\max}$ is afhankelijk van de dikte van de effectieve wortelzone en de pF-curve. In de praktijk wordt meestal gerekend met de hoeveelheid vocht tussen pF 2,0 à 2,3 en pF 4,2.

Met beregening moet gestart worden wanneer een deel van het opneembare water (tot pF 4,2) verbruikt is. Hiervoor gelden globaal de volgende percentages:

- weinig droogteresistente, hoogwaardige gewassen zoals groenten en bollen 30%;
- matig droogteresistente gewassen, zoals aardappels en bieten 50%;
- sterk droogteresistente, diep wortelende gewassen zoals granen 70%.

De hoeveelheid opneembaar water wordt bepaald door de vochtinhoud van de bewortelingszone. In de meeste gevallen is het gewenst om op de te beregenen percelen de vochttoestand te controleren, vooral wanneer de grond niet homogeen is en wanneer het gewas in perioden van snelle groei of van afsterving verkeert.

BEREGENEN AAN DE HAND VAN GEWASSTADIUM EN WEERSOMSTANDIGHEDEN

Deze methode, die in de praktijk nog veel toegepast wordt, leidt al gauw tot het maken van grote fouten. In het voorjaar wordt vaak te laat met beregening begonnen. Vooral in gebieden met een zeeklimaat is het niet goed mogelijk om volgens een bepaald recept in gevoelige perioden een aantal giften toe te dienen, zoals door *Brouwer* (1959) werd aangegeven.

Keuze van de uitdrogingsgrens

De toelaatbare mate van uitdroging van de wortelzone is afhankelijk van de droogteresistentie van het gewas, het gewasstadium en het klimaat. In tabel 4.3.5 zijn voor een aantal gewassen gemiddelde waarden voor de uitdrogingsgrens gegeven. In gevoelige stadia en bij sterk verdampend weer gelden lagere, en in de overige stadia en bij koel bewolkt weer hogere grenswaarden (akkerbouw, grasland: *Hellings*, 1979; tuinbouw: *Feddes*, 1969).

Tabel 4.3.5. Uitdrogingsgrens en gevoelige periode voor een aantal gewassen.

Gewas	Uitdrogingsgrens (pF)	Gevoelige periode
gras	2,6	-
zomergraan	2,9	schieten, korrelzetting
erwten	2,6	bloei, peulvorming
aardappelen	2,5	bloei
bieten	2,6	-
andijvie, spinazie	2,3	-
kropsla	2,5	kropstadium
bloemkool	2,5	vóór en direct na begin koolvorming
sluitkool	2,6	tijdens koolvorming
knolselderij	2,6	tijdens jeugd stadium pF 2,2
peen	2,7	-
radijs	2,2	-
tulpen	2,4	1 week voor de bloei tot 5 à 6 weken na bloei
uien	2,4	tijdens vorming van de bol
aardbeien	2,6	na de bloei
augurken	2,6	tijdens de hoofdbloei
stamslabonen	2,3	tijdens bloei en uitgroeien van de peulen

Grootte van de regengift

Voor de grootte van de beregeningsgift gelden afhankelijk van het ontwikkelingsstadium van het gewas globaal de volgende waarden:

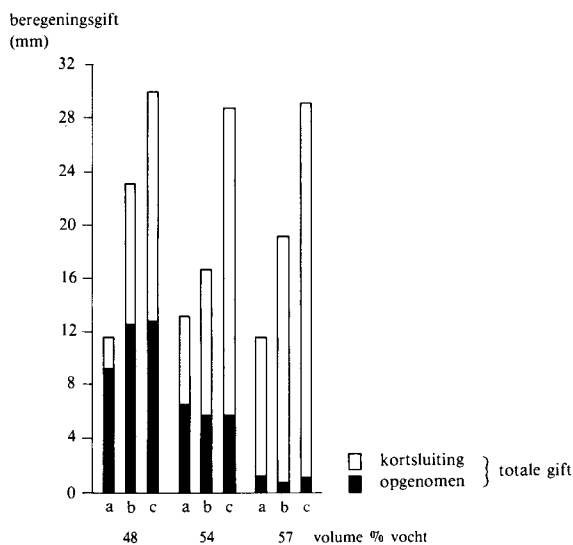
- voor bevordering van de kieming en aanslag 10-15 mm;
- voor beregening tijdens de beginontwikkeling 15-20 mm;
- voor beregening tijdens de periode van sterke groei 25-40 mm.

De grootte van de gift is daarnaast afhankelijk van de mate van uitdroging en het vocht-houdend vermogen van de grond. Om 1 cm grond nat te maken is nodig:

- bij matig uitgedroogde humeuze zandgrond 1 à 1,5 mm;
- bij sterk uitgedroogde humeuze zandgrond 1,5 à 2 mm.

Akkerbouwgewassen worden vaak om de 10 dagen beregend, grasland elke 5 à 7 dagen en groentegewassen om de 3 à 5 dagen.

Op zware kleigronden en veengronden waar in de zomer gemakkelijk scheurvorming optreedt, kunnen slechts kleine giften toegediend worden omdat anders een aanzienlijk deel naar de ondergrond afstroomt. Dit waterverlies door de scheuren wordt "kortsluiting" genoemd (Dekker *e.a.*, 1981). Bij komklei is er een duidelijke relatie tussen de vochtspanning en de mate waarin "kortsluiting" optreedt (zie figuur 4.3.4).



Figuur 4.3.4. Regengiften en de hiervan door drie grondkolommen (a, b en c) opgenomen en kortgesloten gedeelten bij drie verschillende vochttoestanden van de grond (Dekker *e.a.*, 1981).

4.3.5. Bevloeiing

Bevloeiing ofwel oppervlakte-irrigatie wordt in Nederland voornamelijk toegepast bij grasland op klei-, veen- en klei-op-veengronden. Bij bevoeiing wordt door middel van pompen rechtstreeks water op het maaiveld gebracht na het maaien of weiden. Op de stortplek wordt dikwijls een plastic zeil gelegd om verspoeling van grond te voorkomen. Er wordt zoveel water op het land gebracht tot de waterstroom het midden van het perceel bereikt. Hierna wordt de pomp verplaatst. Per keer bevoeien worden giften van circa 100 mm in 1 à 2 uren gegeven.

Om bevoeiing te kunnen toepassen moet onder andere aan de volgende voorwaarden worden voldaan:

- er moet voldoende water beschikbaar zijn;
- het water moet met een capaciteit van 10 à 20 m³ per minuut kunnen worden aangevoerd;
- het water moet van goede kwaliteit zijn en niet zijn verontreinigd met bagger en slootvuil;
- het maaiveld moet voldoende vlak liggen en geen ingesloten laagten hebben.

Om over voldoende water te kunnen beschikken wordt in droge perioden het polderpeil vaak tijdelijk verhoogd. De peilverhoging beperkt tevens het waterverlies, dat ontstaat door ondergrondse afstroming. Door bevoeiing na een sterke uitdroging van de effectieve wortelzone kan een snel herstel van de grasgroei worden bereikt. De wortelzone wordt daarbij weer in verzadigde toestand gebracht. Een eventuele stikstofgift dient onmiddellijk *na* het bevoeien te worden gegeven.

Bevoeien is een snel en effectief middel om sterk uitgedroogde veengronden weer te bevochtigen. Om de nadelige gevolgen van een te sterke uitdroging te voorkomen is het beter tijdig berekening toe te passen. Toepassing van bevoeiing heeft het risico van onvoldoende draagkracht in een volgende natte periode, vooral wanneer nog in augustus of later wordt bevoeid. In verband daarmee dient het slootpeil na het einde van een droogteperiode dan ook weer te worden verlaagd tot het oorspronkelijke niveau, op zijn laatst eind augustus.

Ten opzichte van berekening heeft bevoeiing een aantal voordelen (zie tabel 4.3.6), namelijk:

- lage investerings- en onderhoudskosten;
- grote capaciteit, waardoor in korte tijd een grote oppervlakte van water kan worden voorzien;
- minder frequente toepassing; vaak kan met eenmalige toepassing worden volstaan.

Een nadeel is dat bij het bevoeien de constante aanwezigheid van een mankracht vereist is.

Tabel 4.3.6. Enkele gegevens over investeringen, capaciteit en benodigde tijd voor bevoeling en beregening.

	Aanschafprijs (1982)	Capaciteit (m ³ /uur)	Benodigde tijd voor een gift van 90 mm (uur/ha)
Bevoelen met:			
- aftakas waterpomp	± f 300	600	2
- vijzelpomp	± f 2.700	1.200	1
Beregenen met:			
- autom. installatie	± f 40.000	80	11
- slangensysteem	± f 15.000	50	20

4.3.6. Literatuur

Bakel, P.J.T. van, 1983.

Analyse van het stuwpeilbeheer in 1983, zoals uitgevoerd door het Waterschap "De Veenmarken".

Belmans, C., J.G. Wesseling and R.A. Feddes, 1981.

Simulation model of the waterbalance of a cropped soil providing different types of boundary conditions (SWATRE). Nota 1257. Instit. voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Wageningen.

Boheemen, P.J.M. van, 1980.

Seizoen- en piekbehoefte van kunstmatige watervoorziening bij gras, aardappelen en tuinbouwgewassen. Nota 1211. Instit. voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Wageningen.

Boheemen, P.J.M. van, en J.G.S. de Wilde, 1979.

De watervoorziening van land- en tuinbouw in het droge jaar 1976. Regionale studie, nr. 15. Instit. voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Wageningen.

Brouwer, W., 1959.

Die Feldberechnung. DLG-Verlag.

Consulentschap voor Bodemaangelegenheden in de Tuinbouw, 1979.

Verdampingscijfers en beregeningstijdstip.

Consulentschap voor Bodemaangelegenheden in de Tuinbouw, 1980.

Benadering van het beregeningstijdstip met behulp van de referentieverdamping van het K.N.M.I.

Dekker, L.W., J. Bouma, W. Luten en G. Krist, 1981.

Effectiviteit van beregening op komkleigrasland. Cultuurtechn. Tijdschr. 20(5): p.263-271.

Ernst, L.F., 1978a.

Drainage of undulating sandy soils with high groundwatertables. I. A drainage formula based on a constant hydraulic head ratio. J. Hydrol 39: p.1-30. Ook Techn. Bull. 106, Instit. voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Wageningen.

Ernst, L.F., 1978b.

Drainage of undulating sandy soils with high groundwatertables. II. The variable hydraulic head ratio. J. Hydrol 39: p.31-50. Ook Techn. Bull. 106, Instit. voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Wageningen.

Feddes, R.A., 1969.

Beregeningsprogramma's. Tuinb. Meded. 32(10/11): p.440-453. Ook Verspr. Overdr. 105, Instit. voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Wageningen.

Havinga, L., D. Hettinga en C.J. Schothorst, 1971.

De waterhuishouding bij hoog en verlaagd slootpeil op de proefboerderij in Zegveld. Nota 626. Instit. voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Wageningen.

Hellings, A.J., 1969.

Methoden voor het bepalen van het tijdstip van beregening. Tuinb. Meded. 32(10/11): p.440-453. Ook Verspr. Overdr. 104, Instit. voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Wageningen.

- Hellings, A.J., 1974.
Richtlijnen voor de beregening van groentegewassen in de volle grond. *Bedrijfsontw.* 5(7/8): p.661-665.
Ook Verspr. Overdr. 167, Instit. voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Wageningen.
- Hellings, A.J., 1979.
In: Beregeningsonderzoek in de akkerbouw. Inventarisatie van de bestaande kennis en van de onderzoeksbehoefte. Directie Landbouwkundig Onderzoek.
- Hellings, A.J., J.A.H. Haenen en J.A. Hoenderken, 1978.
Aspecten van druppelbevloeiing en beregeningsvoorlichting in Duitsland. Intern verslag nr. 56. PAGV, Lelystad.
- Proefstation voor de Akkerbouw en de Groenteteelt in de Vollegrond, 1981
Handboek PAGV, Lelystad.
- Rijkswaterstaat, 1982/1983
Policy analysis of the water management for the Netherlands (PAWN). Rijkswaterstaat, 's-Gravenhage.
- Rijkswaterstaat, 1985.
De Waterhuishouding van Nederland. Rijkswaterstaat, 's-Gravenhage.
- Schneider, C.B.H., 1984.
Bevloeien van grasland. *Bedrijfsontw.* 15(6): p.517-520.
- Schothorst, C.J. en D. Hettinga, 1977.
Ervaringen met beregenen en bevloeien op veengrond in 1976. Nota 991. Instit. voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Wageningen.
- Schothorst C.J. en D. Hettinga, 1980.
Het effect van profielbewerking bij een droogtegevoelige veengrond in Noordwest-Overijssel. Nota 1225. Instit. voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Wageningen.
- Schothorst, C.J. en D. Hettinga, 1982.
Grondverbetering: alternatief voor beregening van grasland op lichte zandgrond? *Cultuurtechn. Tijdschr.* 22(4): p.213-226.
- Studiecommissie Waterbehoefte Land- en Tuinbouw, 1980.
Aanvullende watervoorziening van de Land- en Tuinbouw. Rapport van de Studiecommissie Waterbehoefte Land- en Tuinbouw, Den Haag/Utrecht.
- Stuyt, L.C.P.M., 1984.
Mogelijkheden tot waterconservering in hellende zandgebieden. *Cultuurtechn. Tijdschr.* 23(5): p.287-299.
- Unie van Waterschappen, 1977.
Enquête watervoorziening waterschappen 1976. Rp. van de Unie-commissie Waterbeheersing. Unie van Waterschappen, 's-Gravenhage.
- Waterschap de Aa, 1980.
Watervoorziening waterschap de Aa. Verantwoording le fase plan Panheel en perspectief.
- Werkgroep Wateraanvoer, 1983.
Wateraanvoer naar het herinrichtingsgebied. Herinrichtingscommissie Oost-Groningen en Gronings-Drentse Veenkoloniën. Ter Apel.
- Wilde, J.G.S. de en Th.J. Linthorst, 1977.
Beregening en bevloeiing in Nederland in 1976. Nota 973. Instit. voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Wageningen.
- Wilde, J.G.S. de en Th.J. Linthorst, 1978.
Beregening en bevloeiing in Nederland in het zeer droge jaar 1976. *Landbouwk. Tijdschr.* PT 90(3): p.60-68. Ook Verspr. Overdr. 212, Instit. voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Wageningen.

4.4. Effecten van waterbeheersing op de opbrengst

4.4.1. Inleiding

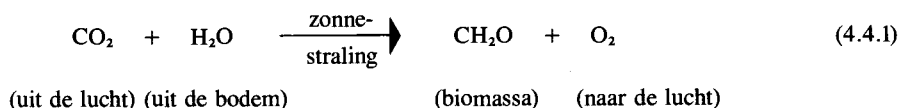
Water is een onmisbare factor voor de groei van planten. Het dient onder andere voor het oplossen van voedingsstoffen in de bodem, voor het transport van voedingsstoffen in de plant, voor koeling van het bladoppervlak en voor het proces van fotosynthese. Zowel bij een tekort aan water als bij een overmaat aan water treden er stoornissen in de groei op met als gevolg een geringere gewasproductie. Een teveel aan water kan tevens een belemmering vormen voor een optimale bedrijfsvoering, waardoor de uiteindelijk te verkrijgen opbrengst verder ongunstig wordt beïnvloed.

De effecten van een tekort of een overmaat aan water worden meestal gekwantificeerd door de actuele opbrengsten - of de opbrengstdepressies - in een bepaalde situatie uit te drukken in een fractie of procenten van een referentieopbrengst. Dikwijls wordt hiervoor de *potentiële opbrengst* of *potentiële produktie* gehanteerd. Over dit begrip bestaat nogal eens verwarring. Om deze reden wordt in het navolgende eerst enige aandacht geschonken aan de begrippen potentiële groei en potentiële opbrengst of produktie alvorens wordt overgegaan op de beschrijving van de effecten van wateroverlast en vochttekorten op de gewasproductie.

4.4.2. Potentiële groeisnelheid en potentiële opbrengst of produktie

Fotosynthese

In de chloroplasten (bladgroenkorrels) van planten wordt onder invloed van zonnestraling CO_2 uit de lucht in aanwezigheid van H_2O omgezet in CH_2O (biomassa). Bij dit proces, *fotosynthese* genoemd, komt O_2 vrij.



Bij de ademhaling van de planten wordt een deel van de gevormde biomassa weer geoxydeerd. Bij dit zogenaamde *respiratie- of ademhalingsproces* verloopt vergelijking 4.4.1 in omgekeerde richting. De hierbij vrijkomende energie is nodig voor het onderhoud en de groei van de plant.

Het verschil tussen de (bruto) fotosynthese en de ademhaling wordt de *netto fotosynthese* genoemd. De fotosynthese of groeisnelheid wordt behalve door water beïnvloed door factoren als zonnestraling, temperatuur, voedingsstoffen, zuurstof en de aëratie van de bodem. Alleen wanneer deze factoren op een adequate manier beschikbaar zijn, wordt de maximaal mogelijke groei bereikt. Wanneer een van deze groeifactoren in beperkte mate aanwezig is, wordt de groeisnelheid en ook de uiteindelijke opbrengst beperkt.

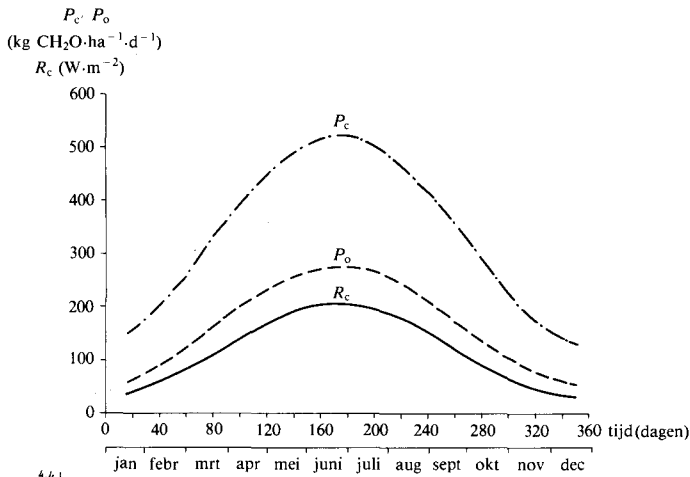
Theoretische potentiële produktie van een "standaardgewas"

Door De Wit (1965) is een model ontwikkeld waarmee de bruto fotosynthese van een gewas in theorie kan worden berekend, rekening houdend met de stand van de zon, de bewolkingsgraad, de gewasarchitectuur en de fotosynthesefunctie van de afzonderlijke bladeren.

Ervan uitgaande dat het zichtbare licht ($0,4-0,7 \mu\text{m}$) de belangrijkste produktiefactor is, berekent De Wit de produktie van een zogenaamd "standaardgewas" op heldere en bewolkte dagen voor iedere afzonderlijk dag en plaats. Een standaardgewas wordt gedefinieerd als een gewas met een bladoppervlakte (leaf-area)-index $LAI = 5$ (5 ha bladeren op 1 ha grondoppervlak), dat volledig is voorzien van water, mineralen en stikstof met een aerodynamische weerstand $r_a = 50 \text{ s} \cdot \text{m}^{-1}$.

Voor Nederlandse omstandigheden (52°NB) is de jaarlijkse variatie van de lichtenergie op heldere dagen (R_c) en de bruto fotosynthesesnelheid van een standaardgewas op heldere (P_c) en op bewolkte dagen (P_o) weergegeven in figuur 4.4.1. De lichtenergie op bewolkte dagen is hierbij op 0,2 R_c gesteld.

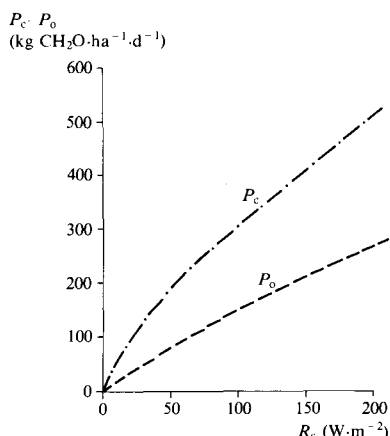
Figuur 4.4.2 laat de relatie zien tussen de lichtenergie R_c enerzijds en de bruto fotosynthesesnelheid (P_c en P_o) anderzijds. Deze relatie geldt eveneens voor het eerdergenoemde standaardgewas onder Nederlandse omstandigheden. Uit figuur 4.4.1 en 4.4.2 blijkt dat $P_o = 0,5 P_c$.



Figuur 4.4.1. Jaarlijkse variatie van de lichtenergie op heldere dagen (R_c) en van de bruto fotosynthesesnelheid van een "standaardgewas" op heldere dagen (P_c) en op bewolkte dagen (P_o) onder Nederlandse omstandigheden (52°NB). (Naar Feddes, 1978; afgeleid van De Wit, 1965).

Figuur 4.4.2.

Relatie tussen de lichtenergie op heldere dagen (R_c) en de bruto fotosynthesesnelheid van een "standaardgewas" op heldere dagen (P_c) en op bewolkte dagen (P_o) onder Nederlandse omstandigheden (52°NB). (Naar Feddes 1978, afgeleid van De Wit, 1965).



De bruto productiesnelheid van een standaardgewas, P_{st} , op een willekeurige dag wordt gevonden als

$$P_{st} = \Lambda P_o + (1 - \Lambda) P_c \quad (\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}) \quad (4.4.2)$$

waarin:

P_{st}	= bruto potentiële productiesnelheid	($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$)
P_o, P_c	= bruto fotosynthese-snelheid van een standaardgewas op heldere, respectievelijk bewolkte dagen	($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$)
Λ	= fractie van de hemel die door bewolking is bedekt	(-)

De waarde van Λ kan worden bepaald via schattingen van de bewolgingsgraad of worden berekend uit de stralingsfluxen (Feddes e.a., 1978).

Potentiële produktie van een werkelijk gewas

De met behulp van vergelijking 4.4.2 te berekenen bruto productiesnelheid is een theoretische waarde voor een hypothetisch gewas. Voor de berekening van de potentiële productiesnelheid van een werkelijk gewas onder werkelijke condities in het veld moet voor een aantal factoren worden gecorrigeerd.

Ademhalingsverliezen

Ten gevolge van de ademhaling van planten gaat, afhankelijk van de gewaseigenschappen, tussen 20 en 50 % van de bruto potentiële produktie verloren. Deze verliezen worden in rekening gebracht door vermenigvuldiging van de bruto potentiële productiesnelheid met een respiratiefactor ϕ_r . Bij een ademhalingsverlies van 30 % is $\phi_r = 1 - 0,3 = 0,7$.

Temperatuurinvloed

De fotosynthese is afhankelijk van de temperatuur. Om de limiterende effecten van de luchttemperatuur in rekening te brengen, wordt de bruto potentiële produktiesnelheid vermenigvuldigd met een temperatuurfactor α_T . Bij optimale groeitemperatuur is $\alpha_T = 1$. Het optimum verschilt per gewas.

Bodembedekking

De waarde van de bladoppervlakte-index LAI waarbij de bodem volledig bedekt is, verschilt per gewas. Bij de berekening van de bruto potentiële produktie van een standaardgewas is voor volledige bodembedekking uitgegaan van een bladoppervlakte-index $LAI = 5$. Gedurende het eerste gedeelte van het groeiseizoen van met name éénjarige gewassen is de bodem echter niet volledig bedekt, waardoor de bruto fotosynthese geringer is. Dit wordt in rekening gebracht door vermenigvuldiging van de bruto potentiële produktiesnelheid met een factor S_c . De waarde van S_c hangt af van het ontwikkelingsstadium en de aard van het gewas. Bij volledig onbedekte bodem is $S_c = 0$ en bij volledige bodembedekking ($LAI \approx 5$) is $S_c = 1$.

Geoogst produkt

De bruto potentiële produktiesnelheid zoals berekend op basis van vergelijking 4.4.2 heeft betrekking op de totale plant (onder- en bovengrondse delen). Hiervan wordt echter maar een gedeelte geoogst.

Voor de berekening van de potentiële produktie van een werkelijk gewas wordt hiertoe een verhoudingsparameter β_h ingevoerd die de fractie geoogst produkt/totaal gewas weergeeft. De waarde van β_h is sterk afhankelijk van de aard van het gewas en van het ontwikkelingsstadium waardoor deze gedurende het groeiseizoen aanzienlijk kan variëren.

De potentiële produktiesnelheid van een werkelijk gewas q_p kan op grond van het bovenstaande als volgt worden berekend:

$$q_p = P_{st} \cdot \Phi_r \cdot \alpha_T \cdot S_c \cdot \beta_h \quad (\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}) \quad (4.4.3)$$

waarin:

P_{st}	= bruto potentiële produktiesnelheid	($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$)
Φ_r	= respiratiefactor	(-)
α_T	= temperatuurfactor	(-)
S_c	= factor bodembedekking	(-)
β_h	= verhoudingsparameter geoogst produkt/totaal gewas	(-)

Voor een kwantitatief overzicht van bovengenoemde factoren bij diverse gewassen wordt verwezen naar Feddes *e.a.* (1978).

Vergelijking 4.4.3 is een sterk vereenvoudigde schematisering van de werkelijkheid. Door De Wit *e.a.* (1978) is een model ontwikkeld dat de potentiële groeisnelheid van een gewas in detail simuleert. Voor een kwalitatieve beschrijving hiervan zie De Wit *e.a.* (1978).

De op de hiervoor omschreven wijze te berekenen waarde voor de potentiële groei (q_p) van een werkelijk gewas kan worden gedefinieerd als:

de groei die bereikt wordt onder de heersende meteorologische omstandigheden bij een optimale water- en luchthuishouding en een niet-limiterende voedingsstoffenvoorziening.

De onder deze omstandigheden en condities te verkrijgen gewasopbrengst wordt aange-merkt als de potentiële produktie (Q_p).

De praktisch potentiële opbrengst

De potentiële produktie (Q_p) zoals hiervoor gedefinieerd, is in feite een berekend fysisch produktieniveau dat nog een sterk theoretisch karakter draagt. Slechts onder ideale proefveldomstandigheden is dit produktieniveau te benaderen.

Voor het aangeven van de effecten van ingrepen in de waterhuishouding op de gewasproduktie is echter niet de theoretisch potentiële produktie van belang, doch de potentiële opbrengst die onder praktijkomstandigheden gehaald kan worden. Naast bovengenoemde factoren spelen hierbij ook bedrijfseconomische en bedrijfstechnische aspecten een rol, waardoor bijvoorbeeld minder kunstmeststoffen worden toegediend dan voor het verkrijgen van een maximale opbrengst noodzakelijk is. Ook de gewasbehandeling wijkt onder praktijkomstandigheden soms belangrijk af van die waarop de berekening van de potentiële produktie is gebaseerd. Gedacht kan hierbij worden aan bijvoorbeeld ziektebestrijding, onkruidbestrijding en, specifiek bij grasland, het graslandgebruik (maaien of beweiden). Voor het karakteriseren van de potentiële produktie onder praktijk(bedrijfs)omstandigheden is het begrip *praktisch potentiële produktie* geïntroduceerd.

De praktisch potentiële produktie (Q_{pp}) kan worden gedefinieerd als:

de produktie die in de praktijk kan worden bereikt onder de heersende meteorologische omstandigheden bij een optimale water- en luchthuishouding, en onder bedrijfseconomische en bedrijfstechnische omstandigheden die in de gegeven situatie als algemeen gangbaar kunnen worden aangemerkt.

Hierbij kan nog onderscheid worden gemaakt tussen de *bruto* produktie en de *netto* produktie. In het eerste geval wordt geen rekening gehouden met verliezen (oogst-, beweidings-, voederwinnings- en eventueel conserveringsverliezen), in het tweede geval wel. Van Heemst e.a. (1978) berekenden - uitgaande van de potentiële produktie van een "standaardgewas" en rekening houdend met diverse reductiefactoren - de potentiële produktie en de actuele bruto- en nettoproduktie van de belangrijkste akkerbouwgewassen en van gras voor de door het Landbouw-Economisch Instituut (LEI) onderscheiden landbouwgebieden in Nederland. Hierbij is eveneens rekening gehouden met verschillen in vochthoudend vermogen van de grond, het bemestingsniveau en verschillen in bedrijfsomstandigheden per gebied.

Opgemerkt wordt dat de gangbare bedrijfseconomische en bedrijfstechnische omstandigheden aan veranderingen onderhevig kunnen zijn; bijvoorbeeld ontwikkelingen in het bemestingsniveau, veranderingen in het beweidings- en voederwinningsstelsel, intensivering en mechanisering in de bedrijfsvoering. De praktisch potentiële opbrengst (Q_{pp}) voor een bepaald gewas is hierdoor in de tijd gezien niet constant.

De Commissie Grondwaterwet Waterleidingbedrijven (1984) hanteert voor schadeberekeningen de in tabel 4.4.1 vermelde produktieniveaus voor de bruto potentiële en netto praktisch potentiële opbrengst van grasland in de onderscheiden perioden.

Tabel 4.4.1. Gemiddeld bruto potentieel en netto praktisch potentieel produktieniveau van grasland, Q_p resp. Q_{pp} , voor verschillende perioden (bron: Commissie Grondwaterwet Waterleidingbedrijven, 1984).

Perioden	Q_p (bruto) (kg ds · ha ⁻¹)	Q_{pp} (netto) (kg ds · ha ⁻¹)
1963 t/m 1967	12.000	8.400
1968 t/m 1972	12.500	8.750
1973 t/m 1979	13.000	9.100
vanaf 1980	13.500	9.450

De in tabel 4.4.1 vermelde produktieniveaus gelden voor gemiddelde meteorologische omstandigheden. De actuele waarde van Q_p en Q_{pp} in een bepaald jaar varieert als gevolg van verschillen in meteorologische omstandigheden van jaar tot jaar.

Voor akker- en vollegrondstuinbouwgewassen kan het praktisch potentieel produktieniveau worden benaderd door de feitelijk gerealiseerde opbrengsten te verhogen met de "verliezen" als gevolg van het niet optimaal zijn van de water- en luchthuishouding. Globaal kan dit "verlies" gesteld worden op gemiddeld circa 10% van de feitelijke opbrengst. In tabel 4.4.2 zijn voor een aantal akkerbouwgewassen de feitelijke opbrengsten gegeven als gemiddelden van 5-jarige perioden.

Tabel 4.4.2. Gemiddelde opbrengsten van een aantal akkerbouwgewassen¹ (ontleend aan: Landbouw-Economisch Instituut, Centraal Bureau voor de Statistiek, 1985.).

	Winter- tarwe	Zomer- gerst	Cons. aard. ²	Fabr. aard. ³	Suiker- bieten	Snij- maïs
	<i>kg per ha</i>		<i>ton per ha</i>			
1961/'65	4.600	4.000	30,0	30,0	42,0	
1966/'70	4.700	3.700	34,5	33,5	47,0	
1971/'75	5.200	4.000	36,7	37,0	45,8	
1976/'80	6.100	4.500	35,2	35,2	47,0	43,3
1980/'84	7.200	4.900	39,2	34,9	52,6	46,5

Bron: CBS Oogstraming; suikerbieten 1983: Instituut voor Rationale Suikerproductie.

N.B.: Granen: handelsgewicht bij 17% vocht.

¹ Gewogen gemiddelden van ramingen per gebied.

² Sinds 1967 incl. vroege aardappelen, pootaardappelen en uitval.

³ Sinds 1967 incl. pootaardappelen.

De in tabel 4.4.2 vermelde opbrengsten zijn landelijke gemiddelden. Van gebied tot gebied kunnen echter aanzienlijke verschillen voorkomen.

Gegevens over opbrengsten van diverse gewassen, eventueel gedifferentieerd per gebied, kunnen worden ontleend aan "Landbouwcijfers 19.", een jaarlijkse uitgave van het LEI (Landbouw-Economisch Instituut) en het CBS (Centraal Bureau voor de Statistiek) en/of aan "Kwantitatieve informatie voor de Akkerbouw en de Groenteteelt in de Vollegrond 19.", dat jaarlijks uitgegeven wordt door het PAGV (Proefstation voor de Akkerbouw en de Groenteteelt in de Vollegrond).

In de laatstgenoemde uitgave wordt tevens de trendmatige ontwikkeling van de productie per ha voor een groot aantal gewassen per gebied weergegeven.

4.4.3. Effecten van watervoorziening op de opbrengst

Factoren van invloed op de mate van vochttekort

Grondwaterstand

Het niveau van het grondwater is, voor zover dit voorkomt op een diepte van minder dan circa 2 à 3 m beneden het maaiveld, van grote betekenis voor de vochtvoorziening van de vegetatie. Naarmate het grondwaterniveau zich dichter onder de wortelzone bevindt, zijn de mogelijkheden van capillaire aanvoer groter en treden in perioden met een neerslagtekort minder snel vochttekorten op. Het gemiddelde verloop van de grondwaterstand wordt gekarakteriseerd door een indeling in grondwatertrappen (Gt). Voor een meer gedetailleerde beschrijving hiervan zie par. II. 2.4.4.

Bij aanwezigheid van storende lagen in het profiel kunnen zich hierop schijnspiegels ontwikkelen. Afhankelijk van de diepte waarop deze schijnspiegels voorkomen, kunnen deze in droge perioden soms een gunstige invloed hebben op de vochtvoorziening van de vegetatie. In natte perioden overheersen veelal de nadelige effecten van schijnspiegels.

Vocht karakteristiek van de wortelzone (pF-curve)

De vocht karakteristiek van de grond is afhankelijk van een aantal factoren. Bij de zand- en veenkoloniale gronden zijn dat het organische-stofgehalte, het leemgehalte, de zand-grofheid (M50-cijfer) en de dichtheid van de grond; bij de zee- en rivierkleigronden het organische-stofgehalte, het lutumgehalte en de dichtheid van de grond.

De vocht karakteristiek van een grond heeft slechts waarde voor de bemonsterde plek en de onmiddellijke omgeving. Teneinde hieraan een bredere toepasbaarheid te geven, zijn de in de loop der jaren door diverse instanties verzamelde pF-gegevens statistisch bewerkt. Voor de zand- en veenkoloniale gronden is dit gedaan door *Krabbenborg e.a.* (1983) en voor de rivier- en zeekleigronden door *Poelman en Van Egmond* (1979).

Meer recentelijk is door *Wösten e.a.* (1987) de zogenaamde Staringreeks opgesteld. Zie ook par. III. 3.2.4.

Dikte van de wortelzone

De hoeveelheid vocht die in de wortelzone kan worden geborgen, is behalve van de vocht karakteristiek afhankelijk van de dikte van de wortelzone. De voornaamste beperkende factoren voor de bewortelingsdiepte zijn:

- de zuurgraad (pH);
- de aëratie;
- de indringingsweerstand van de grond.

Bij pH (KCl)-waarden beneden 3,5 à 4 is vrijwel geen beworteling meer mogelijk. Met name in de veenkoloniale gronden vormt de lage pH een belemmering voor de beworteling. Hetzelfde geldt voor gliedelagen en katteklei.

De aëratie speelt voornamelijk een rol bij veengronden, moerige gronden en sommige kleigronden. Bij luchtgehalten van minder dan 10 à 15 % wordt de beworteling sterk beperkt. Een slechte aëratie kan zowel worden veroorzaakt door een hoge grondwaterstand als door een slechte bodemstructuur.

Op zandgronden en brikgronden is de indringingsweerstand de voornaamste beperkende factor voor beworteling. In het algemeen reikt de bewortelingsdiepte niet verder dan de bovenkant van de C-horizont of de briklaag.

Door *Houben* (1979) zijn de relaties tussen de eigenschappen van de grond en de bewortelingsdiepte uitvoerig beschreven.

De verdeling van de wortels in het profiel wordt in sterke mate bepaald door de eigenschappen van de bodem. In de meeste gevallen neemt de intensiteit van de beworteling af met de diepte. Bij een geringe wortelintensiteit wordt het beschikbare bodemvocht niet volledig benut. Bij de berekening van het vochttekort wordt daarom dikwijls niet de totale worteldiepte in beschouwing genomen doch een zone van geringere dikte. Het begrip "*effectieve wortelzone*" wordt daarom vaak gehanteerd voor die laag in het profiel waar in 80 à 90% van de wortels voorkomt.

De bewortelingsdiepte wordt echter niet uitsluitend door bodemkundige factoren bepaald. De eigenschappen van het gewas spelen eveneens een belangrijke rol. Bovendien is de gevoeligheid voor de genoemde bodemkundige factoren niet voor alle gewassen gelijk. In tabel 4.4.3 is voor grasland en een viertal bouwlandgewassen een indicatie gegeven voor de dikte van de effectieve wortelzone voor verschillende grondsoorten.

Opgemerkt dient te worden dat de in tabel 4.4.3 vermelde waarden gelden voor een volledig ontwikkeld wortelstelsel. Bij éénjarige gewassen is de effectieve bewortelingsdiepte in het begin van het groeiseizoen aanmerkelijk geringer. Bij vochttekortberekeningen met een model waarin de effectieve wortelzone als een vast gegeven wordt ingevoerd, kan dit aspect in rekening worden gebracht door de vermelde waarden enigszins te reduceren of door opdeling van het groeiseizoen in twee of meer perioden met een verschillende effectieve bewortelingsdiepte en voor elk van deze perioden een afzonderlijke berekening uit te voeren.

Onverzadigde doorlatendheid van de ondergrond

De onverzadigde doorlatendheid wordt in belangrijke mate bepaald door de textuur en dichtheid van de grond. Daarnaast is tevens de profielopbouw van belang (zie ook par. III. 3.2.5 en par. III. 3.3.3, tabel 3.3.1).

Vaste veen- of gliedelagen hebben een ongunstiger invloed op de capillaire eigenschappen naarmate ze hoger boven het grondwater liggen (*Bloemen*, 1982). In grof zand is de capillaire stijghoogte relatief gering. Grofzandige lagen werken daardoor vooral storend indien deze hoog in het profiel voorkomen, dus vlak onder de wortelzone. De dikte van de grofzandige laag is van weinig belang.

Tabel 4.4.3. Dikte effectieve wortelzone (cm) voor een aantal gewassen bij verschillende grondsoorten (ontleend aan *Werkgroep HELP-tabel, 1987*).

Bodemtype	Gras	Graan	Maïs	Aard-appelen	Suiker-bieten
veengronden	20-30	25-30	25-30	20-25	25-30
moerige gronden	20-25	25-35	25-35	20-30	25-35
veenkoloniale gronden					
- niet verbeterd	20	25	25	20	25
- gemengwoeld	30-35	30-50	30-50	30-40	30-50
kleigronden					
profielverloop 1	25-30	35-45	35-50	30-35	35-45
profielverloop 2	25-30	40-60	40-65	35-45	40-60
profielverloop 3 en/of 4	25-30	35-50	35-50	30-35	35-50
profielverloop 5	30-35	45-70	45-80	35-40	45-70
zandgronden					
eerd- en vaaggronden					
- dun dek	20	25	25	25	25
- matig dik dek	30	40	40	30	40
- dik dek	50	60-80	60-80	50	60-80
- met kleidek	25	30	30	25	30
podzolgronden					
- dun dek	25	25-30	25-30	25	25-30
- matig dik dek	35	40	40	35	40
brikgronden	40-50	60-80	60-80	40-60	60-80

N.B. De aangegeven spreiding hangt samen met de variatie in profielopbouw en bodemgesteldheid binnen de onderscheiden bodemtypen. Bij kleigronden is dit met name de bouwvoorzwarte (bij zavel en lichte klei is de effectieve bewortelingsdiepte meestal groter dan bij zware klei) en het al of niet aanwezig zijn van slecht bewortelbare zware klei in het profiel beneden de bouwvoor.

In vergelijking met zandgronden is de onverzadigde doorlatendheid van leemgronden relatief gering. De capillaire stijghoogte daarentegen is relatief groot. Bij lemige lagen is de storende werking het grootst indien deze op wat grotere diepte in het profiel voorkomen. Indien de leemlaag relatief hoog in het profiel voorkomt, kan dit een gunstige invloed hebben op de vochtleverantie aan het gewas, doordat deze laag de capillaire stijghoogte enigszins verlengt. In tegenstelling tot een grofzandige laag heeft bij een leem- en kleilaag de dikte van de laag wel invloed op de mate van storing (*Mooy, 1981*).

Bij de berekening van de vochtleverantie worden de onderscheiden bodemlagen homogene verondersteld. In de praktijk is dit echter zelden het geval. Met name in zandgronden treedt veelal een micro-gelaagdheid op, waardoor in de ondergrond talrijke laagjes met een afwijkende granulaire samenstelling voorkomen. Deze laagjes (leembandjes, ijzerfibers, grofzandige en/of grinderige laagjes, gliedelaagjes etc.) variëren sterk zowel naar plaats als in dikte en in diepte en zijn dientengevolge niet of nauwelijks in kaart te brengen. Niettemin bestaat de indruk dat deze micro-gelaagdheid een relatief grote invloed heeft op de capillaire vochtleverantie aan het gewas. Het verdient daarom aanbeveling voor vochttekortberekeningen gebruik te maken van gemeten $k(h)$ -relaties aan ongestoorde monsters.

Op basis van dergelijke gemeten $k(h)$ -relaties is door de Stichting voor Bodemkartering in samenwerking met het Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding de zogenaamde "Staringreeks", samengesteld waarin de $k(h)$ -relaties van een groot aantal in Nederland veelvuldig voorkomende bodemlagen zijn opgenomen. Zie par. III. 3.2.5.

Bij klei- en veengronden ontstaan bij uitdroging horizontale en verticale scheuren in het profiel. Door met name de horizontale scheuren wordt de capillaire opstijging onderbroken en treden vochttekorten op. Het effect van horizontale scheuren in kleigronden op de $k(h)$ -relatie is onderzocht door *Bouma en De Laat* (1981).

De verticale scheuren hebben tot gevolg dat een deel van de neerslag rechtstreeks naar de ondergrond verdwijnt, zonder de wortelzone te bevochtigen. Dit verschijnsel, dat wordt aangeduid als "kortsluiting", is uitvoerig bestudeerd en beschreven door *Dekker e.a.* (1981).

Klimatologische omstandigheden

De klimatologische omstandigheden in Nederland zijn niet overal gelijk (zie par. III. 2.2.3 en III. 2.3.8). Met name in de kustgebieden wijkt het neerslag- en verdampingspatroon zowel wat betreft de hoeveelheid als wat betreft de verdeling over het jaar, aanzienlijk af van meer landinwaards gelegen gebieden. Deze afwijkingen zijn het grootst in het zomerhalfjaar.

Het gemiddelde neerslagtekort ($0,8 E_0^{\text{MOW}} - P$) gesommeerd over het zomerhalfjaar, varieert van 110 à 130 mm in de kustgebieden tot 20 à 40 mm in het midden en het oosten van het land. Berekend is dat als gevolg van deze verschillen het gemiddelde vochttekort in de kuststrook circa 30% en in het overgangsgebied achter de kuststrook (Noord- en Zuid-Holland) alsook in Noord-Brabant en het noorden van Limburg circa 10% hoger is dan in de rest van het land.

Deze waarden zijn berekend voor grasland op kleigrond; het is echter niet aannemelijk te achten dat voor andere gewassen en/of andere bodemtypen sterk afwijkende waarden gelden.

4.4.4. Methoden ter bepaling van de effecten van watervoorziening

De voor een potentiële groei van een gewas benodigde hoeveelheid water (de vraag) wordt bepaald door de potentiële verdamping (E_p). De grootte hiervan is afhankelijk van de eigenschappen van het gewas en een aantal meteorologische factoren. Voor de berekening van E_p zijn diverse berekeningsmethoden ontwikkeld (zie par. III. 2.3.7).

De voor verdamping beschikbare hoeveelheid water (het aanbod) wordt bepaald door de vochtvoorraad in de wortelzone aan het begin van het groeiseizoen en de aanvulling hiervan gedurende het groeiseizoen door neerslag en capillaire aanvoer vanuit de ondergrond. Het aanbod van water kan in zekere mate worden beïnvloed door:

- vergroting vochtvoorraad wortelzone (profielverbetering);

- verkleining afstand wortelzone-grondwater door middel van
 - . profielverbetering (diepere wortelzone);
 - . verhoging grondwaterstand (waterconservering, infiltratie);
- kunstmatige aanvullende watervoorziening (beregening, bevoeiing).

Wanneer een gewas als gevolg van vochttekorten niet potentieel kan verdampen, treden er groeivertragingen op en dientengevolge opbrengstdepressies. De relatie tussen de gewasverdamping (watergebruik) en de gewasopbrengst kan worden bepaald op basis van empirisch onderzoek (proefveld- en lysimeteronderzoek) of worden berekend met behulp van fysisch georiënteerde produktiemodellen. Ook is een methode ontwikkeld waarbij de gewasopbrengst wordt berekend met behulp van een droogteschadematrix.

Proefveld- en lysimetergegevens

De relatie tussen de gewasproductie en het watergebruik wordt meestal niet éénduidig weergegeven. Als gevolg hiervan worden allerlei soorten verbanden gevonden die moeilijk generaliseerbaar zijn. Dit geldt met name indien niet de totale droge-stofproductie doch slechts een gedeelte hiervan (bijvoorbeeld alleen de oogstbare delen) wordt gerelateerd aan het watergebruik. Doordat de verdeling van de droge-stofproductie over de diverse delen van de plant (wortels, knollen, bladeren en stengels, vruchten/zaad) zich, afhankelijk van de gewaseigenschappen, in de loop van het groeiseizoen kan wijzigen, worden in verschillende deelperioden van het groeiseizoen soms afwijkende verbanden tussen productie en watergebruik gevonden.

Een moeilijkheid bij de empirische bepaling van de relatie tussen de gewasproductie en het watergebruik is bovendien dat het nauwkeurig vaststellen van bijvoorbeeld de evapotranspiratie (verdamping door gewas en grond) of de effectieve watergift onder veldomstandigheden veel problemen oplevert. Als gevolg hiervan zijn in de literatuur relatief weinig goede experimenten beschreven waarbij $\dot{E}$ en de productie $\dot{P}$ en het watergebruik met voldoende nauwkeurigheid zijn gemeten. In veel gevallen is de relatie opbrengst-watergebruik ontleend aan de resultaten van veldproeven met aanvullende watervoorziening (beregening). De opbrengstreducties per mm vochttekort worden dan meestal gelijk gesteld aan de uit deze proefvelden verkregen meeropbrengsten per mm effectieve watertoediening.

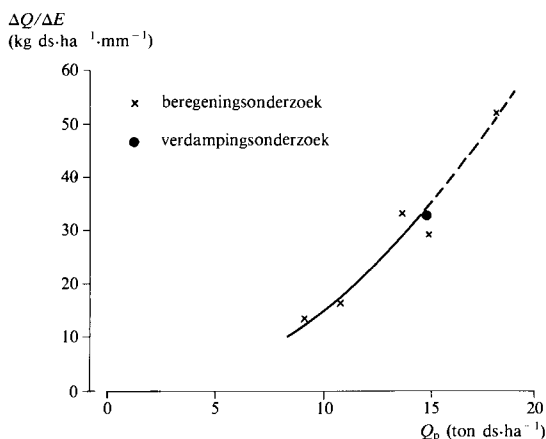
Voor grasland en voor een aantal akkerbouwgewassen worden de resultaten van in Nederland verricht proefveld- en lysimeteronderzoek in het navolgende kort samengevat.

Gras

Resultaten van Nederlandse beregeningsproeven en lysimeterproeven aan gras zijn uitvoering beschreven door *Van Boheemen* (1981). Hieruit kan worden geconcludeerd dat het effect van een verbeterde watervoorziening groter is naarmate het (bruto) potentiële produktieniveau in het groeiseizoen hoger ligt (denk bijvoorbeeld aan een hoger stralingsniveau of een hoger bemestingsniveau). Daarbij varieert het opbrengstverhogend effect van 20 tot 50 kg droge stof $\cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1}$, afhankelijk van het potentieel te bereiken opbrengstniveau (zie figuur 4.4.3). Bij een potentieel produktieniveau van 13.500 kg ds $\cdot \text{ha}^{-1}$ bedraagt de meeropbrengst 29 kg ds $\cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1}$.

Figuur 4.4.3.

Verhouding tussen de veranderingen van de produktie en evapotranspiratie $\Delta Q/\Delta E$ in relatie tot de potentiële produktie (Q_p).
(Naar: van Boheemen, 1981).



Doornbos e.a. (1977) berekenden dat onder praktijkomstandigheden de meeropbrengsten 20% lager zijn dan op proefvelden, hetgeen resulteert in een praktisch te realiseren meeropbrengst van 23,6 kg ds·ha⁻¹·mm⁻¹.

De Commissie Grondwaterwet Waterleidingbedrijven (1984) gaat voor de berekening van de opbrengstdepressies door vochttekorten eveneens uit van het in figuur 4.4.3 weergegeven verband. De potentiële produktie Q_p wordt hierbij jaarlijks berekend, uitgaande van een lineair verband tussen de potentiële verdamping en de potentiële produktie volgens de volgende vergelijking.

$$Q_p = \bar{Q}_p \cdot E_p / \bar{E}_p \quad (\text{kg ds} \cdot \text{ha}^{-1}) \quad (4.4.4)$$

waarin:

$$\begin{aligned} \bar{Q}_p &= \text{gemiddelde potentiële produktie} && (\text{kg ds} \cdot \text{ha}^{-1}) \\ E_p &= \text{potentiële verdamping in het jaar waarvoor de} \\ &\quad \text{potentiële produktie moet worden berekend} && (\text{mm}) \\ \bar{E}_p &= \text{gemiddelde potentiële verdamping (normaalwaarde)} && (\text{mm}) \end{aligned}$$

Voor de gemiddelde potentiële produktie wordt uitgegaan van de in tabel 4.4.1 vermelde bruto waarden. Bij een gemiddelde potentiële produktie van 13.500 kg ds·ha⁻¹ wordt op deze wijze over een 30-jarige periode een gemiddeld opbrengsteffect van 30,1 kg ds·ha⁻¹·mm⁻¹ berekend.

Het verschil tussen proefveld- en praktijkomstandigheden wordt in rekening gebracht door een reductie van 15% op de berekende meeropbrengst. Vervolgens wordt deze uitkomst nog met 17,5% verminderd in verband met de normale beweidings- en voederwiningsverliezen. De gemiddelde netto meeropbrengst onder praktijkomstandigheden bedraagt derhalve $30,1 \times 0,85 \times 0,825 = 21,1$ kg ds·ha⁻¹·mm⁻¹.

Door een afwijkende benadering in de berekening van de optredende vochttekorten (onder andere gewasfactor 0,7 in plaats van 0,8) berekende *Mandersloot* (1984), uitgaande van dezelfde basisgegevens als Doornbos e.a. en Van Boheemen, een meeropbrengst van 42,5 kg ds · ha⁻¹ · mm⁻¹ (proefveldomstandigheden). Door deze waarde in te voeren in een graslandgebruiksmodel vindt genoemde auteur een opbrengsteffect van 30,9 kg ds · ha⁻¹ · mm⁻¹ voor praktijkomstandigheden. De praktisch potentiële productie is hierbij berekend op 13.000 kg ds · ha⁻¹. Aangezien hierbij geen rekening is gehouden met de normale beweidings- en voederwinningsverliezen zijn deze uitkomsten te beschouwen als bruto (meer)opbrengsten.

Dekker e.a. (1981) vonden op proefvelden op komkleigronden meeropbrengsten van gemiddeld 32,1 kg ds · ha⁻¹ per mm effectieve beregeningsgift.

In tabel 4.4.4 zijn de hiervoor besproken onderzoeksresultaten samengevat.

Tabel 4.4.4. Potentiële opbrengst en opbrengst-effect van watervoorziening van gras.

	Potentiële opbrengst (kg ds · ha ⁻¹)			Opbrengst effect watervoor- ziening (kg ds · ha ⁻¹ · mm ⁻¹)		
	proef- veld	praktijk		proef- veld	praktijk	
		bruto	netto		bruto	netto
<i>Doornbos e.a.</i> (1977)	-	-	-	29,5	23,6	-
<i>Van Boheemen</i> (1981)	13.500	-	-	29,0	-	-
<i>CoGroWa*</i> (1984)	13.500	11.500	9.450	30,1	25,6	21,1
<i>Mandersloot</i> (1984)	-	13.000	-	42,5	30,9	-
<i>Dekker e.a.</i> (1981)	-	-	-	32,1	-	-

* CoGroWa = Commissie Grondwaterwet Waterleidingbedrijven.

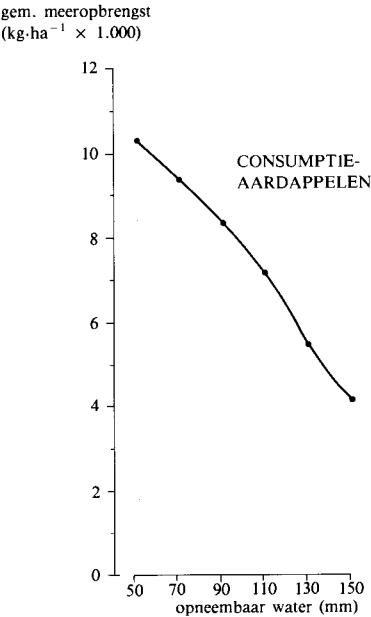
Aardappelen

Het effect van watervoorziening op de opbrengst van aardappelen is sterk afhankelijk van de periode waarin vochttekorten optreden. Gedurende de periode van knolvorming zijn de effecten het grootst. Uit onderzoek blijkt echter dat op kleigronden groeiremmingen als gevolg van droogte in de beginperiode van de knolvorming worden gecompenseerd door een sterkere groei in de tweede helft van het groeiseizoen. Op zandgronden vindt deze compensatie niet of in mindere mate plaats. Het effect van aanvullende watervoorziening is op kleigronden dientengevolge geringer dan op zandgronden. Beregeningsproeven op kleigronden in Friesland, Noord-Holland en Zuid-Holland (Westmaas) laten gemiddelde meeropbrengsten zien van 2.500 tot 3.500 kg knollen per ha. Op proefvelden in de IJsselmeerpolders werden gemiddelde opbrengstverhogingen van 5.100 tot 6.500 kg gevonden (*Consulentschap voor de Akkerbouw in de IJsselmeerpolders en Noord-Holland*, z.j.).

Om de resultaten van proefveldonderzoek meer algemeen toepasbaar te maken, wordt de opbrengst en/of de meeropbrengst veelal gerelateerd aan het watergebruik c.q. de effectieve hoeveelheid toegediend water.

Hellings (1980) bewerkte de resultaten van beregeningsproefvelden op droge zandgrond in Noord-Brabant en Limburg en vond meeropbrengsten van circa 60 kg · ha⁻¹ · mm⁻¹ in het voorjaar tot circa 230 kg · ha⁻¹ · mm⁻¹ in de periode van half juni tot half augustus. Op basis hiervan berekende hij de gemiddelde meeropbrengsten voor zandgronden op hangwaterprofielen met verschillende hoeveelheden opneembaar water in de wortelzone. De resultaten zijn vermeld in figuur 4.4.4.

Figuur 4.4.4.
Gemiddelde meeropbrengst aan leverbare knollen (>35 mm) van consumptie-aardappelen door beregning op hangwaterprofielen met 50 tot 150 mm opneembaar water in de wortelzone. (Hellings, 1980).



Rijtema en Endrödi (1970) vonden een rechtlijnig verband tussen de totale drogestofproductie (*Q*) van aardappelen en het waterverbruik van het gewas (transpiratie, *E_t*), gedeeld door het gemiddelde dampdrukdeficit van de lucht (zie ook hierna onder fysisch georiënteerde produktiemodellen).

$$Q = A \cdot E_t / (e_s - e_a) \qquad \qquad \qquad (\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}) \qquad \qquad \qquad (4.4.5)$$

waarin:

- Q* = totale droge-stofproductie (kg · ha⁻¹)
- A* = efficiëntie coëfficiënt watergebruik (kg · ha⁻¹ · mm⁻¹ · mbar)
- E_t* = totale watergebruik (transpiratie) door plant (mm)
- e_s* = verzadigde dampdruk (mbar)
- e_a* = actuele dampdruk (mbar)

Deze relatie is onafhankelijk van klimaatsinvloeden. De waarde van A bleek uit het onderzoek van *Rijtema en Endrödi* voor de onderzochte rassen vrijwel constant te zijn. De gemiddelde waarde voor A bedroeg $155 \text{ kg ds} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1} \cdot \text{mbar}$.

Hellings e.a. (1982) vinden voor consumptie-aardappelen op hoge zandgrond als gemiddelde over het gehele groeiseizoen voor een optimaal beregend gewas en voor een onberegend gewas A -waarden van respectievelijk 209 en $277 \text{ kg ds} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1} \cdot \text{mbar}$. Op het onberegende veld maakt het gewas kennelijk een efficiënter gebruik van het beschikbare water. Doordat het gewas op het beregende veld minder efficiënt met het water omspringt, is het beregeningseffect relatief laag. Het verschil in opbrengst tussen het beregende en het onberegende veld gerelateerd aan het verschil in watergebruik resulteert in een A -waarde van $87 \text{ kg ds} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1} \cdot \text{mbar}$.

Nieuwenhuis en Palland (1982) vinden voor fabrieksaardappelen op dezelfde grondsoort voor de maanden juli en augustus A -waarden van dezelfde orde van grootte. Ook bij dit onderzoek is het beregeningseffect relatief laag.

Opgemerkt dient te worden dat de opbrengst in vergelijking 4.4.5 betrekking heeft op de totale droge-stofproductie. In de voor het optreden van droogteschade meest gevoelige perioden vindt er echter nauwelijks of geen groei van de bladeren en stengels meer plaats, zodat de totale droge-stofproductie bij benadering gelijk kan worden gesteld aan de droge-stofproductie van de knollen. De A -waarde kan worden herleid tot een opbrengst aan vers produkt per ha per mm watergebruik door vermenigvuldiging met het gemiddelde dampdrukdeficit en het droge-stofgehalte.

Uitgaande van een gemiddeld dampdrukdeficit van 4,0 à 4,5 mbar en een droge-stofgehalte van 0,24 is de A -waarde bij benadering gelijk aan de opbrengst aan oogstbaar produkt in $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1}$.

Resumerend kan worden gesteld dat de knolproductie van aardappelen in de periode van knolvorming circa $250 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1}$ bedraagt. Door een efficiënter gebruik van het beschikbare water in perioden met vochttekort is het effect van aanvullende watervoorziening (middels beregening) echter geringer (circa $100 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1}$). Bovendien treedt bij kleigronden een inhaaleffect op, waardoor het effect van de beregening op de eindopbrengst wordt gereduceerd.

Bij pootaardappelen wordt beregening ook toegepast om pokschorft te voorkomen. Mits op tijd uitgevoerd, leidt dit tot zeer goede resultaten. Een bijkomend voordeel voor de pootaardappelteelt is bovendien dat het aantal knollen per plant door beregening wat groter is. Bij consumptie-aardappelen kan door beregening knolmisvorming alsmede het optreden van doorwas en glazigheid sterk worden beperkt. Bovendien is op beregende percelen de blauwgevoeligheid van aardappelen vaak geringer dan op niet beregende percelen.

Suikerbieten

De meeropbrengsten van suikerbieten welke in de literatuur worden gevonden, variëren van 116 tot 217 kg biet per mm beregening (*Hellings*, 1980).

Bovendien wordt door beregening in droge jaren het suikergehalte met 1 à 2% verhoogd,

althans op lichte gronden. Op zware gronden daarentegen kan door berekening het suikergehalte enigszins dalen. *Hellings* (1980) bewerkte de resultaten van proeven op hoge zandgronden en vond hierbij de volgende regressievergelijkingen:

$$y_1 = 205x - 1.026 \tag{4.4.6a}$$

$$y_2 = 43,6x - 296 \tag{4.4.6b}$$

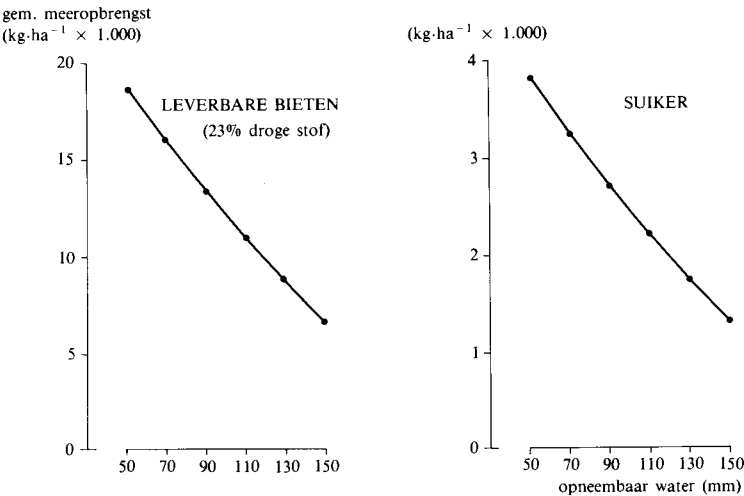
$$y_3 = 92,9x - 765 \tag{4.4.6c}$$

waarin:

- x = effectieve regengift (mm)
- y_1 = meeropbrengst leverbare bieten met 23% ds (kg · ha⁻¹)
- y_2 = meeropbrengst suiker (kg · ha⁻¹)
- y_3 = meeropbrengst totaal droge stof (kg · ha⁻¹)

De effecten van berekening op verschillende tijdstippen in het groeiseizoen bleken elkaar slechts weinig te ontlopen. De grootste kans op droogteschade trad op in de tweede helft van het groeiseizoen bij volledige grondbedekking. In dat stadium kan vroegtijdige afsterfing van het blad optreden die aanleiding geeft tot verlaging van het droge-stof- en suikergehalte.

Op basis van vergelijking 4.4.6a en 4.4.6b berekende *Hellings* voor een aantal bodemtypen met een maximale hoeveelheid opneembaar hangwater in de wortelzone variërend van 50 tot 150 mm de gemiddeld te verwachten meeropbrengst aan bieten en suiker. De resultaten zijn in figuur 4.4.5 weergegeven.



Figuur 4.4.5. Gemiddelde meeropbrengst aan leverbare suikerbieten en aan suiker door berekening op hangwaterprofielen met 50 tot 150 mm opneembaar water in de wortelzone (Hellings, 1980).

Globaal gesteld bedraagt de meeropbrengst bij suikerbieten op zandgrond ca. 200 kg biet ofwel ca. 40 kg suiker per ha per mm effectieve beregening. De effecten op klei- en zavelgronden zijn minder groot omdat daar minder gauw vroege afsterving van het blad optreedt. De meeropbrengst voor deze gronden kan globaal gesteld worden op gemiddeld 150 kg biet dan wel 25 kg suiker per ha per mm.

Granen

Granen kennen evenals aardappelen gevoelige perioden voor het optreden van vochttekorten. *Hellings* (z.j.) vond bij beregening in de periode van het schieten tot het begin van de bloei opbrengsteffecten van $24 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1}$ bij zomertarwe, $30 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1}$ bij haver en $36 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1}$ bij zomergerst. In de overige perioden van het groeiseizoen zijn de effecten beduidend lager ($0\text{-}10 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1}$). Beregening vroeg in het seizoen (eerste helft mei) leidde in een aantal gevallen zelfs tot een opbrengstvermindering.

Fysisch georiënteerde produktiemodellen

Opbrengst- en produktiegegevens van proefveld- en lysimeteronderzoek zijn in principe slechts geldig voor situaties en omstandigheden die overeenkomen met die ter plaatse en ten tijde van het proefveldonderzoek. De overdraagbaarheid van de uitkomsten naar andere plaatsen en omstandigheden is diengevolge beperkt. Door middel van moderne rekentechnieken is het echter mogelijk de effecten van vochtvoorziening op de gewasproductie te simuleren met behulp van numerieke modellen. Uitkomsten van proefveldonderzoek kunnen op deze wijze worden vertaald in algemeen geldende relaties. Op basis hiervan kan worden geëxtrapoleerd naar andere situaties en omstandigheden.

Produktiemodellen kunnen erg eenvoudig of zeer gecompliceerd zijn. Bij de gewasproductie in relatie tot de vochtvoorziening spelen vele factoren een rol. De kennis omtrent bepaalde aspecten van het produktieproces is echter nog gering. Om tot een praktisch werkbaar model te komen, wordt daarom dikwijls gebruik gemaakt van sterk vereenvoudigde empirische relaties, ontleend aan veldproeven. Een aantal produktiemodellen (-relaties) zullen hierna in het kort worden besproken. Voor een uitvoeriger overzicht wordt verwezen naar *Feddes* (1979).

Produktie versus transpiratie c.q. -evapotranspiratie

Groeisnelheid en produktie worden hier evenredig gesteld met de hoeveelheid water gebruikt door het gewas, ofwel de transpiratie gesommeerd over het groeiseizoen.

$$Q = A_1 \cdot E_t \quad (\text{kg ds} \cdot \text{ha}^{-1}) \quad (4.4.7a)$$

waarin:

$$\begin{array}{ll} Q = & \text{gewasproductie} \quad (\text{kg ds} \cdot \text{ha}^{-1}) \\ E_t = & \text{cumulatieve transpiratie} \quad (\text{mm}) \\ A_1 = & \text{watergebruiks-efficiëntiefactor} \quad (\text{kg ds} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1}) \end{array}$$

In de praktijk is het vaak moeilijk om de transpiratie apart te bepalen. Meestal wordt in veld- en lysimeterproeven via waterbalansberekeningen de som van transpiratie, bodem-

verdamping en interceptie, de evapotranspiratie, E , bepaald. We krijgen dan analoog aan vergelijking 4.4.7a de relatie:

$$Q = A_2 \cdot E \quad (\text{kg ds} \cdot \text{ha}^{-1}) \quad (4.4.7b)$$

waarin:

$$E = \text{cumulatieve evapotranspiratie} \quad (\text{mm})$$

Afhankelijk van de tijdsduur dat een gewas de bodem niet volledig bedekt, de optredende weersomstandigheden en het type bodem, zal de bodemevaporatie een meer of minder belangrijk aandeel in de produktie-relatie hebben. Deze relatie zal dus vaak sterk lokaal bepaald zijn.

produktie versus transpiratie gedeeld door het dampdrukdeficit

De produktie-(evapo)transpiratie-relaties volgens vergelijking 4.4.7a en b lijken voor humide en aride gebieden op dezelfde breedtegraad tot verschillende uitkomsten te leiden. Bierhuizen en Slatyer (1965) stelden daarom een relatie voor waarin het gemiddelde dampdrukdeficit ($\overline{\Delta e}$) van de lucht is opgenomen. Δe , de feitelijke verdampingskracht van de lucht, wordt berekend uit het verschil tussen de verzadigde dampdruk (e_s) en de actuele dampdruk (e_a) en wordt uitgedrukt in mbar. De vergelijking wordt dan:

$$Q = A \cdot E_t / \overline{\Delta e} \quad (\text{kg ds} \cdot \text{ha}^{-1}) \quad (4.4.8)$$

waarin:

$$\overline{\Delta e} = \text{gemiddelde dampdrukdeficit van de lucht} \quad (\text{mbar})$$

De watergebruiks-efficiëntiefactor A heeft nu de dimensie van $\text{kg ds} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1} \cdot \text{mbar}$. Vergelijking 4.4.8 is identiek aan de eerder besproken vergelijking 4.4.5. Door toepassing van vergelijking 4.4.8 worden verschillen in meteorologische omstandigheden tussen diverse jaren weggewerkt. De indruk bestaat echter dat de waarde van A in droge jaren hoger is dan in natte jaren. Dit betekent dat in droge jaren (perioden) een efficiënter gebruik wordt gemaakt van het beschikbare water. Deze tendens komt ook tot uitdrukking in beregeningsproeven van Hellings *e.a.* (1982). Vaststelling van de A -waarde per gewas per groeistadium en per jaar blijft voorlopig echter nog een moeilijke zaak.

Door Feddes *e.a.* (1978) is het model CROPR ontwikkeld, dat voor een gewas dat in een optimale bemestingstoestand verkeert de dagelijkse groeisnelheid q ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$) beschrijft als een functie van:

- de dagelijkse transpiratiesnelheid gedeeld door het dampdrukdeficit van de lucht, $E_t / \Delta e$;
- de watergebruiks-efficiëntiefactor, A , en
- de berekende potentiële groeisnelheid q_p op de bewuste dag.

De uiteindelijke totale droge-stofproductie wordt dan bepaald door de dagelijkse productiehoeveelheden over het groeiseizoen te sommeren.

Feddes e.a. (1984) hebben de programma's SWATRE en CROPR samengevoegd tot één programma (SWACRO), waarmee voor de belangrijkste landbouwgewassen de actuele gewasproductie kan worden berekend. Dit model genereert de gewasontwikkeling als functie van de tijd, in afhankelijkheid van de optredende vochttekorten.

Relatieve produktie versus relatieve (evapo)transpiratie

Indien de vergelijkingen 4.4.7a en 4.4.7b worden toegepast voor potentiële waarden van de transpiratie (E_{tp}) resp. de evapotranspiratie (E_p), kan men analoog aan vergelijking 4.4.7a en 4.4.7b de potentiële produktie (Q_p) als volgt schrijven:

$$Q_p = A_1^* \cdot E_{tp} \quad (\text{kg ds} \cdot \text{ha}^{-1}) \quad (4.4.9a)$$

resp.

$$Q_p = A_2^* \cdot E_p \quad (\text{kg ds} \cdot \text{ha}^{-1}) \quad (4.4.9b)$$

waarin:

Q_p	= potentiële gewasproductie	(kg ds · ha ⁻¹)
E_{tp}	= cumulatieve potentiële transpiratie	(mm)
E_p	= cumulatieve potentiële evapotranspiratie	(mm)
A_1^*, A_2^*	= watergebruiks-efficiëntiefactoren	(kg ds · ha ⁻¹ · mm ⁻¹)

De watergebruiks-efficiëntiefactoren A_1 en A_2 zijn in deze vergelijkingen voorzien van een * ter onderscheiding van de watergebruiks-efficiëntiefactoren in vergelijking 4.4.7a en 4.4.7b, welke betrekking hebben op de actuele produktie en (evapo)transpiratie.

Deling van vergelijking 4.4.7a en 4.4.7b door respectievelijk 4.4.9a en 4.4.9b geeft de relatieve produktie weer in relatie tot de relatieve transpiratie (4.4.10a) respectievelijk de relatieve evapotranspiratie (4.4.10b).

$$Q/Q_p = B_1 \cdot E_t/E_{tp} \quad (-) \quad (4.4.10a)$$

en

$$Q/Q_p = B_2 \cdot E/E_p \quad (-) \quad (4.4.10b)$$

waarin $B_1 = A_1/A_1^*$ en $B_2 = A_2/A_2^*$. Door vermenigvuldiging met Q_p kan men de produktie Q uitdrukken als een fractie van de potentiële produktie Q_p . Indien tevens wordt aangenomen dat $A_1 = A_1^*$ en $A_2 = A_2^*$ (dus $B_1 = 1$ en $B_2 = 1$), verkrijgt men de volgende vergelijkingen:

$$Q = (E_t/E_{tp}) \cdot Q_p \quad (\text{kg ds} \cdot \text{ha}^{-1}) \quad (4.4.11a)$$

en

$$Q = (E/E_p) \cdot Q_p \quad (\text{kg ds} \cdot \text{ha}^{-1}) \quad (4.4.11b)$$

Vergelijking 4.4.11b is in principe gelijk aan vergelijking 4.4.4, welke door de Commissie Grondwaterwet Waterleidingbedrijven wordt gehanteerd om de potentiële produktie van gras in een bepaald jaar te kunnen berekenen.

Stewart e.a. (1977) ontwikkelden de volgende variant op vergelijking 4.4.10b:

$$1 - Q/Q_p = \beta(1 - E/E_p) \quad (-) \quad (4.4.12)$$

Na omwerking kan de produktie Q als volgt worden uitgedrukt:

$$Q = \{1 - \beta(1 - E/E_p)\} \cdot Q_p \quad (\text{kg ds} \cdot \text{ha}^{-1}) \quad (4.4.13)$$

De produktie Q is gelijk aan Q_p indien $E = E_p$ en neemt lineair af voor waarden van $E < E_p$. De dimensielloze factor β bepaalt in vergelijking 4.4.12 en 4.4.13 de afname in Q per eenheid van afname in E over het gehele groeiseizoen. Het lineaire verband van Q met E geldt zowel voor de totale droge-stofproduktie als voor bijvoorbeeld de korrelopbrengst van maïs wanneer water ten minste de limiterende factor is.

Het voordeel van het gebruik van dimensielloze vergelijkingen als 4.4.10 t/m 4.4.13 is dat verschillen in jaren met verschillende produktie- en verdampingsniveaus worden geëlimineerd. De vergelijkingen waarin de produktie is gerelateerd aan de relatieve evapotranspiratie, hebben tevens als voordeel dat geen scheiding behoeft te worden gemaakt tussen de verdamping van uitsluitend het gewas (transpiratie), de verdamping van de bodem (evaporatie) en de interceptieverdamping.

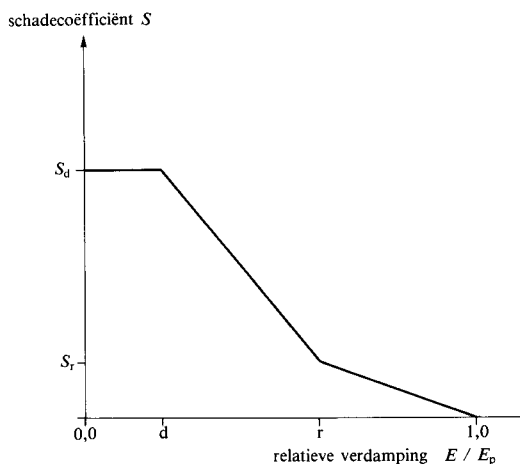
Bij toepassing van de vergelijkingen 4.4.10 t/m 4.4.13 wordt echter geen rekening gehouden met het voorkomen van specifieke droogtegevoelige stadia bij sommige gewassen. Door enkele onderzoekers (o.a. *Stewart e.a.*, 1977) zijn evenwel ook aanvullende modellen voor gewassen met droogtegevoelige stadia ontwikkeld, waarbij gebruik wordt gemaakt van verschillende gevoeligheidsfactoren voor de diverse stadia.

Droogteschadematrix

Door *Abrahamse e.a.* (1982) is een methode aangegeven waarbij schade door droogte wordt bepaald aan de hand van droogteschadefuncties. De algemene vorm van deze functie is weergegeven in figuur 4.4.6. Er wordt hierbij van uitgegaan dat de in een bepaalde tijdspan (decade of soms een maand) optredende droogteschade een functie is van de rela-

Figuur 4.4.6.

Schematisch verloop van de schadecoëfficiënt S als functie van de relatieve verdamping. (Naar Abrahamse e.a., 1982).



tieve evapotranspiratie, E/E_p , die gedurende deze tijdstap optreedt. De schadecoëfficiënt S geeft aan welk deel van de potentiële seizoenopbrengst bij een bepaalde waarde van de relatieve verdamping in de betreffende tijdstap als verloren dient te worden beschouwd.

Wanneer de relatieve verdamping $E/E_p = 1$, dan is de schadecoëfficiënt $S = 0$. Het verloop van de schadecoëfficiënt als functie van de relatieve verdamping vertoont 2 knikpunten: het zogenaamde *reduction point* (r) waarbij de helling van de curve verandert en het *dying point* (d) waarbij de maximale droogteschade begint op te treden. De parameters r en d zijn onafhankelijk van de tijd. De waarden van de schadecoëfficiënt bij r en d (S_r resp. S_d in figuur 4.4.6) vertonen in principe wel een variatie in de tijd. De waarden zijn afhankelijk van de tijdstapgrootte en de aard en het ontwikkelingsstadium van het gewas. De berekening van de uiteindelijke opbrengst geschiedt in principe als volgt.

In het begin van het seizoen begint men met een verwacht potentieel opbrengstniveau Q_p . Aan het eind van de eerste tijdstap is de te verwachten eindopbrengst $(1 - S_1) \cdot Q_p$; aan het eind van de tweede tijdstap $(1 - S_2) \cdot (1 - S_1) \cdot Q_p$; enzovoorts tot en met de laatste tijdstap.

Bij deze benadering wordt ervan uitgegaan dat in elke tijdstap het gewas zoveel droogteschade kan ondervinden dat de eindopbrengst nihil wordt. Aan het begin van het groeiseizoen doet zo'n situatie zich bij veel gewassen voor, maar aan het einde bijna nooit. In dit stadium is in de regel reeds een deel van de gewasproductie in een oogstbare vorm aanwezig of reeds geoogst en dat deel kan dan niet meer door droogte verloren gaan. Dit aspect is in rekening gebracht door invoering van een parameter die per tijdstap aangeeft de fractie van de potentiële seizoenopbrengst die nog geproduceerd moet worden. De schade in een bepaalde tijdstap kan nooit groter zijn dan de voor deze tijdstap geldende fractie van de potentiële opbrengst.

De berekening van de opbrengst op basis van hiervoor omschreven methode kan in formule als volgt worden weergegeven:

$$Q = (1 - S_1 q_1) \cdot (1 - S_2 q_2) \dots (1 - S_n q_n) \cdot Q_p \quad (4.4.14)$$

waarbij:

Q	actuele seizoenopbrengst	(kg · ha ⁻¹)
Q_p	potentiële seizoenopbrengst	(kg · ha ⁻¹)
S_i	schadecoëfficiënt voor tijdstap i	(-)
q_i	fractie van de potentiële seizoenopbrengst die maximaal in tijdstap i door droogte verloren kan gaan	(-)
n	aantal tijdstappen binnen het groeiseizoen.	(-)

De methode is praktisch nog niet getoetst aan actuele veldgegevens. *Van Boheemen* (1982) vergeleek de op bovenomschreven wijze berekende opbrengsten van consumptieaardappelen met die verkregen door toepassing van vergelijking 4.7.7b. De opbrengstdepressie berekend op basis van de droogteschadefuncties bleek circa een factor 1,7 groter te zijn. Aan de hand van actuele veldgegevens wordt de methode nader getoetst en bijgesteld.

4.4.5. Effecten van ontwatering op de opbrengst

Opbrengstdepressies door wateroverlast worden veroorzaakt door een complex van factoren. Naast een aantal factoren die de gewasgroei nadelig beïnvloeden (onder andere luchthuishouding, stikstofmineralisatie, bodemtemperatuur), spelen bij wateroverlast bodemtechnische factoren als bewerkbaarheid en draagkracht een belangrijke rol. De invloed hiervan op de uiteindelijk te verkrijgen opbrengst is sterk afhankelijk van de bedrijfsvoering (graad van mechanisering, veebezetting etc.) en verschilt dientengevolge van bedrijf tot bedrijf. De gevolgen van wateroverlast zijn onder andere beschreven door *Wind* (1963), *Sieben* (1965) en *Schneider* (1978).

In het navolgende worden de belangrijkste facetten van wateroverlast kort toegelicht, vervolgens wordt ingegaan op de factoren die van invloed zijn op de mate van wateroverlast.

Facetten van wateroverlast

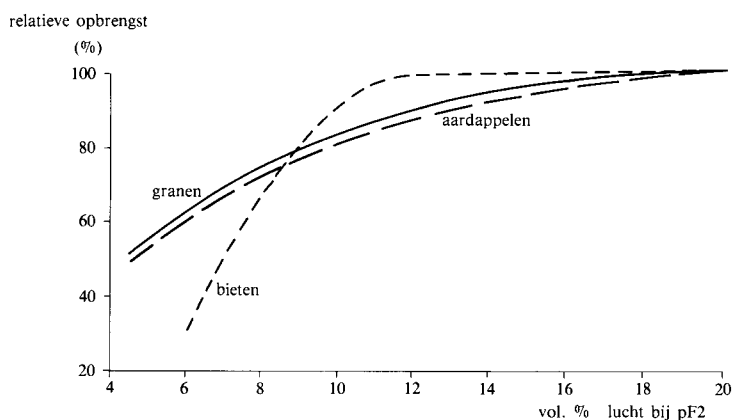
Luchthuishouding in de wortelzone

In een natte grond is het vochtgehalte hoog en het luchtgehalte naar verhouding laag. In deze situatie vindt er onvoldoende uitwisseling tussen bodemlucht en atmosfeer plaats. Door het verbruik van zuurstof en de afgifte van koolzuur door plantenwortels en bodemorganismen verandert de samenstelling van de bodemlucht in ongunstige zin, waardoor zuurstofgebrek optreedt (zie ook par. II. 4.6.2.).

De processen in de bodem die de veranderingen in de samenstelling van de bodemlucht bewerkstelligen, verlopen sneller naarmate de temperatuur hoger is. Wateroverlast in de

zomerperiode veroorzaakt dientengevolge relatief veel schade. Door onvoldoende aëratie van de bodem in het eerste ontwikkelingsstadium van een gewas (voorjaar) komt het wortelstelsel slecht tot ontwikkeling en blijft de bewortelingsdiepte beperkt. De opnamecapaciteit van vocht en voedingsstoffen wordt hierdoor gereduceerd, met als gevolg een niet-optimale ontwikkeling van het gewas.

De invloed van het luchtgehalte op de opbrengst van een aantal akkerbouwgewassen is weergegeven in figuur 4.4.7.



Figuur 4.4.7. Invloed van het luchtgehalte op de opbrengst van granen, bieten en aardappelen (ontleend aan Boekel, 1973).

Stikstofmineralisatie

Als gevolg van een slechte aëratie wordt de stikstofmineralisatie en nitrificatie geremd, waardoor stikstofgebrek optreedt. Onder zeer natte omstandigheden kan zelfs denitrificatie optreden. Stikstofgebrek als gevolg van wateroverlast treedt vooral op bij de beginontwikkeling van zomergewassen in het voorjaar.

Bodemtemperatuur

Voor gewassen die in het voorjaar worden gezaaid of gepoot, is de bodemtemperatuur mede van invloed op de kieming, de opkomst en de eerste groei van de gewassen. Feddes (1971) vond dat bij hoge grondwaterstanden de temperatuur in het zaaibed gemiddeld 1 à 2°C lager was dan bij diepe grondwaterstanden.

Als gevolg hiervan wordt de kieming en opkomst op te natte gronden vertraagd en komt de gewasgroei later op gang. Ook bij grasland wordt het op gang komen van de groei beïnvloed door de bodemtemperatuur.

Structuur van de bodem

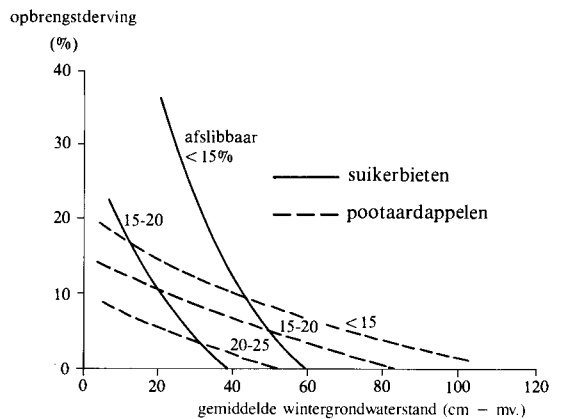
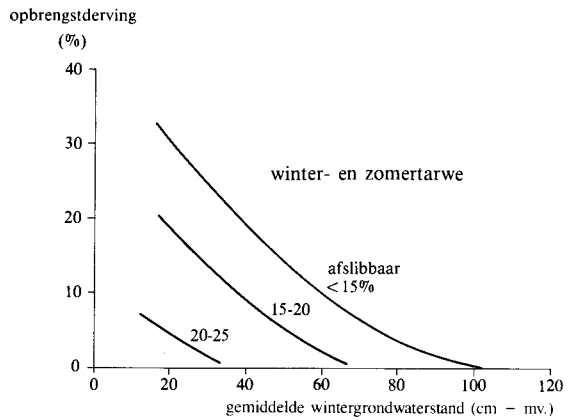
Zowel door overvloedige neerslag als door grondwaterstanden kan verslemping van de bouwvoor optreden, met als gevolg een onvoldoende luchtuitwisseling tussen bodem en

atmosfeer voor een optimale groei. Door de vorming van dichte korsten aan het bodemoppervlak is ook na daling van de grondwaterstand de lucht- en waterhuishouding veelal nog geruime tijd gestoord.

De gevoeligheid voor verslemping verschilt per bodemtype; vooral kalkarme, lichte zavelgronden zijn in dit opzicht kwetsbaar. De gevolgen van verslemping voor de opbrengst van de belangrijkste akkerbouwgewassen op zavel en lichte kleigronden zijn beschreven door Boekel (1973).

Verslemping kan een ernstige schade aan met name wintergranen en een slechte opkomst van zomergewassen tot gevolg hebben. Op sterk slempgevoelige gronden kunnen bij onvoldoende ontwatering opbrengstdepressies in de orde van grootte van 20 à 30 % optreden (zie figuur 4.4.8).

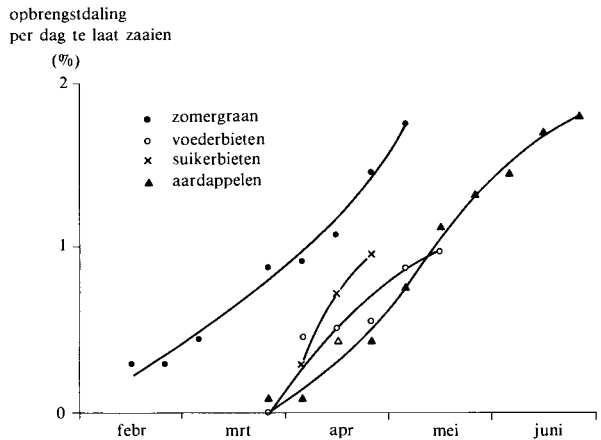
Figuur 4.4.8.
Opbrengstderving als gevolg van verslemping bij verschillende grondwaterstanden en gehalten aan afslibbare bestanddelen voor verschillende akkerbouwgewassen (ontleend aan Boekel, 1973).



Bewerkbaarheid van bouwland

Bij bouwland kunnen door wateroverlast problemen ontstaan met de bewerkbaarheid van de grond. De noodzakelijke voorjaarswerkzaamheden kunnen hierdoor niet tijdig uitgevoerd worden, waardoor reeds in het begin van het groeiseizoen een belangrijke groeiachterstand optreedt, hetgeen een belangrijke opbrengstderving tot gevolg kan hebben. Voor de ontkieming van de gewassen is een bepaalde minimumtemperatuur vereist (zomergranen 3 à 4°C, bieten ongeveer 6°C en aardappelen 8-10°C). Inzaai of poten na het tijdstip waarop deze minimumtemperatuur is bereikt, leidt tot een verkorting van de groeiperiode. De invloed hiervan op de opbrengst is groter naarmate deze verkorting later in het groeiseizoen optreedt. Wind (1960) bewerkte een groot aantal literatuurgegevens en vond op basis hiervan de in figuur 4.4.9 weergegeven relatie tussen de opbrengstdaling per dag te laat zaaien en de zaaitijd.

Figuur 4.4.9.
Opbrengstderving door te laat zaaien in afhankelijkheid van de zaaitijd (ontleend aan Wind, 1960).



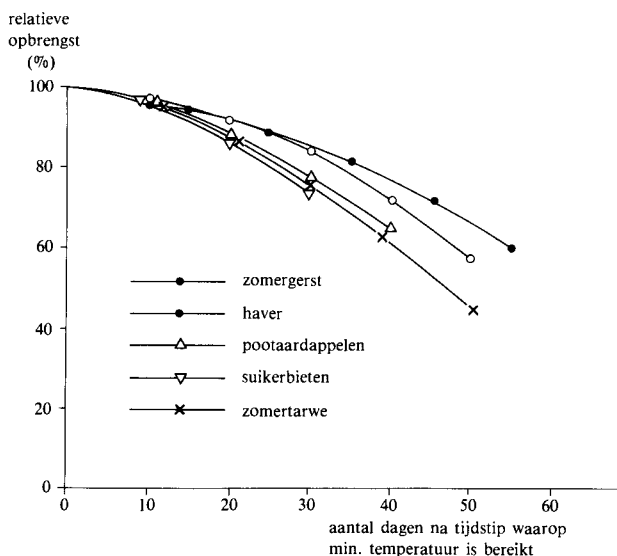
In tabel 4.4.5 zijn de grenswaarden van de drukhoogte van het bodemvocht op 5 cm –mv. vermeld, waar beneden het zaaien van zomergraan en bieten en het poten van aardappelen zonder structuurbederf kan worden uitgevoerd (Beuving, 1982).

Tabel 4.4.5. Grenswaarde van de drukhoogte (h cm) van het bodemvocht op 5 cm –mv waarbij het zaaien van zomergraan en bieten en het poten van aardappelen zonder structuurbederf kan worden uitgevoerd (Beuving, 1982).

Grondsoort	Drukhoogte (h cm)		
	zomer-granen	bieten	aardappelen
zand- en veenkoloniale grond	–50	– 70	– 70
lichte zavel (8-20% deeltjes <2 μ m)	–80	–100	–100
lichte klei (20-40% deeltjes <2 μ m)	–60	–100	–120
zwarte klei (>40% deeltjes <2 μ m)	–40	– 60	– 80

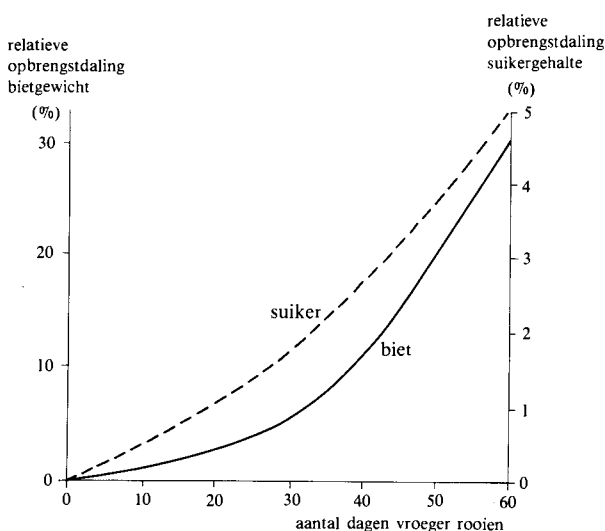
Boekel (1973) leidde, eveneens uit literatuurgegevens, de in figuur 4.4.10 weergegeven relatie tussen de relatieve opbrengst van een aantal akkerbouwgewassen en het zaaitijdstip af.

Figuur 4.4.10.
Invloed van de zaaitijd op de relatieve opbrengst van verschillende gewassen (ontleend aan Boekel, 1973).



In het najaar kunnen als gevolg van onvoldoende bewerkbaarheid problemen bij de oogst optreden. In extreme situaties kan de oogst van bijvoorbeeld aardappelen of maïs geheel verloren gaan. Bij suikerbieten heeft te vroeg oogsten een reductie van zowel het suikergehalte als van de gewasopbrengst tot gevolg (zie figuur 4.4.11).

Figuur 4.4.11.
Relatieve opbrengstdaling van bietgewicht en suikergehalte als gevolg van het aantal dagen eerder rooien dan 1 november (Feddes en Van Wijk, 1977).



Draagkracht van grasland

Bij grasland leidt een onvoldoende draagkracht tot problemen met betrekking tot de berijdbaarheid en beweiding. De berijdbaarheid is onder meer van belang bij de ruwvoerwinning, het kunstmest strooien en het uitrijden van mest. Door onvoldoende draagkracht kunnen de noodzakelijke werkzaamheden niet tijdig worden verricht, waardoor de productie nadelig wordt beïnvloed. Voor een goede berijdbaarheid is een draagkracht van 0,5 MPa ($= 5 \text{ kg} \cdot \text{cm}^{-2}$) benodigd. Het berijden van het grasland bij onvoldoende draagkracht leidt tot ernstige schade aan de graszode en aanzienlijke verliezen van de netto grasproductie.

In het algemeen is voor een voldoende draagkracht bij ondiep ontwaterd grasland een drogere toestand vereist dan bij diep ontwaterd grasland. De reden hiervoor is de lossere structuur van de zodelaag bij slecht ontwaterde gronden.

Voor beweiding van het grasland is een draagkracht van 0,6 MPa vereist. Door onvoldoende draagkracht in voorjaar en najaar wordt de lengte van de weideperiode bekort. In geval van beweiding bij onvoldoende draagkracht nemen de beweidingsverliezen sterk toe, terwijl de kwaliteit van de graszode wordt geschaad. *Schothorst* (1963) berekende dat bij verbetering van de draagkracht bij een gelijkblijvende bruto-grasproductie, een verhoging van de netto-productie van 15 à 20% verwacht mag worden.

Voor uitvoeriger informatie omtrent aspecten van draagkracht van graslandgronden zie hfdst. II.4.7.

Overige facetten

De hiervoor genoemde facetten van wateroverlast hebben alle invloed op de netto gewasopbrengst. Onvoldoende ontwatering kan daarnaast leiden tot extra bedrijfskosten zoals bijvoorbeeld kosten voor aangepaste werktuigen, geringere benutting van de capaciteit van de werktuigen, extra arbeidskosten, extra kosten voor ziektebestrijding (leverbot, longworm etc.) bij rundvee en schapen en extra kosten voor mestopslag.

In het bijzonder voor veengronden en moerige gronden geldt dat bij onvoldoende ontwatering de bemestingskosten hoger zijn; op goed ontwaterde percelen kan door mineralisatie van de organische stof aanzienlijk (tot ca. 200 kg N) op de bemesting bespaard worden (*Henkens*, 1984).

De aanwezigheid van greppels in percelen leidt tot extra arbeidskosten en machinekosten. Daarnaast is er sprake van een geringere effectief te gebruiken oppervlakte.

Factoren van invloed op de mate van wateroverlast

Grondwaterstand

De grondwaterstand is in sterke mate bepalend voor het vochtgehalte en de vochtspanning in de bovengrond en is dientengevolge indirect van invloed op de bewerkbaarheid en de draagkracht van de bodem en op de luchthuishouding in de wortelzone.

De mate van wateroverlast wordt echter niet uitsluitend bepaald door het niveau waarop de grondwaterstand voorkomt doch eveneens door de tijdsduur gedurende welke een bepaald niveau wordt overschreden (zie par. II.2.4.4., tabel 2.4.8).

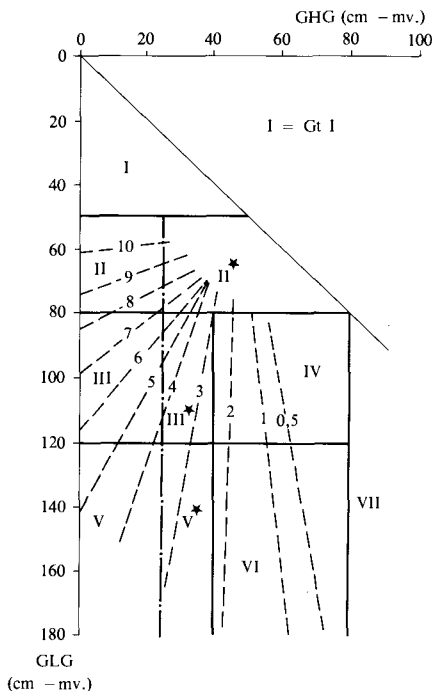
Bij grondwatertrappen met een relatief geringe fluctuatie (Gt I, II, III en IV) kan de overschrijdingsduur van bepaalde grondwaterstandsdiepten binnen een Gt sterk uiteen lopen. De duur waarmee een grondwaterstand van bijvoorbeeld 30 cm –mv wordt overschreden, varieert voor een Gt II tussen 0 en 9 maanden. Voor een Gt III varieert de overschrijdingsduur tussen circa 0,5 en 5 maanden.

In figuur 4.4.12 is de gemiddelde overschrijdingsduur van grondwaterstanden ondieper dan 50 cm –mv weergegeven in afhankelijkheid van de GHG en de GLG. Tevens is in deze figuur de begrenzing van de grondwatertrappen aangegeven. Uit deze figuur blijkt de grote variatie in overschrijdingsduur binnen Gt II en Gt III.

Figuur 4.4.2.

*Lijnen van gelijke overschrijdingsduur (in maanden) van grondwaterstanden onderdieper dan 50 cm –mv.
(Bron: Jaarverslag 1982, StiBoka).*

Voorbeeld: Bij een GHG van 20 cm –mv en een GLG van 105 cm –mv is de grondwaterstand gedurende 5 maanden per jaar ondieper dan 50 cm –mv.



Bodemkundige factoren

Bodemkundige factoren die de mate van depressie door wateroverlast beïnvloeden, zijn onder andere:

- textuur;
- structuur;
- humusgehalte;
- profielopbouw.

Bovengenoemde factoren bepalen in belangrijke mate de draagkracht en de doorlatendheid van de bodem. Naarmate de bodem een grovere textuur heeft, is de doorlatendheid groter en treedt minder wateroverlast op. Bij zeer fijnzandige gronden en lichte zavelgron-

den is de textuur van betekenis in verband met de slempgevoeligheid (structuurbederf). Een hoog lutum- en/of leemgehalte veroorzaakt een geringe doorlatendheid waardoor in regenrijke perioden snel plasvorming optreedt; de grond blijft lang nat en is dientengevolge moeilijk bewerkbaar. Een hoog humusgehalte is ongunstig in verband met de draagkracht.

Bij aanwezigheid van storende (slechtdoorlatende) lagen in het profiel, kan er sprake zijn van wateroverlast door stagnatie van bodemwater op deze lagen, waardoor zogenaamde schijnspiegels ontstaan. Deze schijnspiegels ontstaan in perioden met een neerslagoverschot. Als voorbeelden van dergelijke slechtdoorlatende lagen kunnen worden genoemd: keileemlagen, leemlagen, meerbodem- en gliedelaagjes, verkitte B-horizonten alsook mechanisch verdichte bodemlagen (ploegzolen). Voor het bepalen van het effect van deze lagen op de waterhuishoudkundige situatie is zowel de diepte als de dikte van deze lagen van belang.

Meteorologische factoren

Met betrekking tot de mate van wateroverlast is vooral de grootte van het neerslagoverschot ($P - 0,8 E_0^{\text{MOW}}$) en de verdeling hiervan binnen het jaar van belang. Langdurige perioden met neerslagoverschotten leiden tot hoge vochtgehalten in de bouwvoor, met als gevolg slechte groeiomstandigheden en onvoldoende draagkracht en bewerkbaarheid van de bodem. In het voorjaar resulteert dit in te late zaai- en poottijdstippen (bijvoorbeeld 1983) en in de zomer en in het najaar tot oogstproblemen (bijvoorbeeld 1974).

Bedrijfstechnische factoren

De mate van wateroverlast is eveneens afhankelijk van bedrijfstechnische factoren; zo stellen bijvoorbeeld een hoge graad van mechanisering en een intensieve bedrijfsvoering relatief hoge eisen aan de ontwatering. Wateroverlast veroorzaakt onder deze omstandigheden veel schade.

Daarnaast is ook de gewaskeuze van belang. Bij gewassen waarvoor vroeg in het voorjaar grondbewerking nodig is en bij gewassen welke relatief laat geoogst worden, is het risico van schade door wateroverlast groter dan bij gewassen die laat worden gezaaid/gepoot of vroeg worden geoogst.

Bij grasland kan de schade door onvoldoende draagkracht soms worden beperkt door aangepaste methoden van ruwvoederwinning en aanpassing van het beweidingssysteem. In gebieden waar de bedrijven naast laag gelegen (natte) gronden ook de beschikking hebben over hogere gronden, zoals bijvoorbeeld in sommige zandgebieden, kunnen de nadelige effecten van onvoldoende draagkracht soms worden gereduceerd door in natte perioden de lage, minst draagkrachtige percelen zoveel mogelijk te ontzien en met de beweiding uit te wijken naar de hogere percelen. In gebieden met vrijwel uitsluitend lage gronden zijn de mogelijkheden om de schade door wateroverlast te beperken, in dit opzicht gering.

4.4.6. Methoden ter bepaling van ontwateringseffecten

Proefveldonderzoek

Teneinde het effect van ontwatering op de gewasopbrengst vast te stellen, is in de achterliggende decennia veel proefveldonderzoek verricht. De uitkomsten hiervan leidden echter niet altijd tot éénduidige conclusies. De oorzaak hiervan moet worden gezocht in het grote aantal factoren dat hierbij een rol speelt. Niettemin zijn deze proefveldgegevens onontbeerlijk voor het vaststellen van de relatie tussen opbrengst en ontwatering, hetzij direct hetzij indirect als toetsingscriterium voor bijvoorbeeld modelmatige benaderingen.

Boekel (1973) berekende op basis van verschillende proefveldresultaten voor aardappelen, bieten en granen de gemiddelde opbrengstdepressie bij verschillende wintergrondwaterstanden op zavel- en kleigronden. De verschillende aspecten van wateroverlast zijn hierbij afzonderlijk gekwantificeerd.

Sieben (1964) bewerkte de resultaten van een aantal proefvelden in de Noordoostpolder en kwam op basis hiervan voor verschillende graangewassen tot een relatie tussen de opbrengst en de ontwateringstoestand, gekarakteriseerd door middel van zogenaamde SOW_{30} -waarden. Hieronder wordt verstaan de som van de overschijding van een grondwaterstandsniveau van 30 cm –mv gedurende de winterperiode (1 november-1 maart) uitgaande van dagelijkse waarnemingen. Uit het onderzoek van *Sieben* bleek dat er niet uitsluitend een relatie bestaat tussen opbrengst en SOW_{30} -waarde van de laatste winterperiode, doch dat ook de SOW_{30} -waarde van de voorlaatste winter van invloed is op de gewasopbrengst.

De opbrengst en de kwaliteit van appels is door *Visser* (1983) onderzocht op een grondwaterstandsproefveld op lichte kleigrond. De hoogste produktie aan fruit van goede kwaliteit werd bereikt bij diepe grondwaterstanden.

Op zandgronden is relatief weinig onderzoek verricht naar de invloed van een onvoldoende ontwatering op de opbrengst van akkerbouwgewassen.

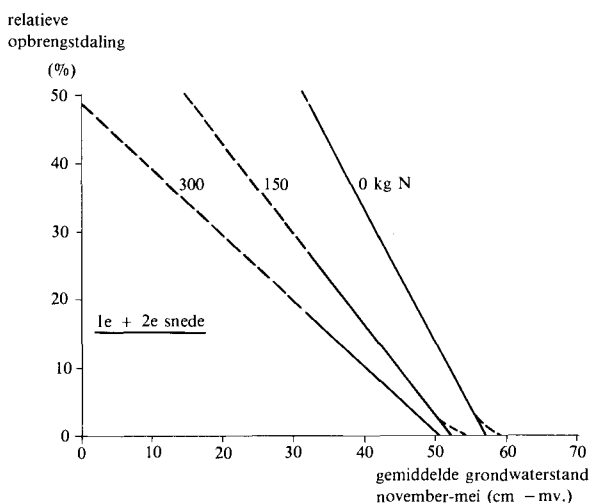
Het onderzoek naar het effect van ontwatering van grasland heeft zich in het verleden hoofdzakelijk gericht op de *bruto* grasproduktie. Hierbij is met name de grasproduktie in het voorjaar gerelateerd aan de ontwateringssituatie.

Van Wijk en Feddes (1975) hanteerden eveneens de SOW_{30} -waarde om de invloed van de grondwaterstand op de opbrengst van de 1e + 2e snede van grasland op veengrond aan te geven. Door vervolgens de relatie tussen de SOW_{30} en de gemiddelde grondwaterstand in de winter (november-mei) te bepalen, kon het verband tussen deze gemiddelde grondwaterstand en de opbrengstdaling van de 1e + 2e snede worden vastgelegd (fig. 4.4.13). Hierbij zijn drie bemestingsniveaus onderscheiden. De opbrengstdaling is geringer naarmate het bemestingsniveau hoger is.

Schothorst (1980) onderzocht op basis van een groot aantal proefveldgegevens het effect van ontwatering in diverse weidegebieden op de voorjaarsproduktie. Op grond hiervan concludeerde hij dat bij een goede ontwatering, zowel bij zand-, veen- als bij kleigronden,

Figuur 4.4.3.

Relatieve opbrengstdaling van de 1e + 2e snede in afhankelijkheid van de gemiddelde grondwaterstand van nov.-mei bij stikstofgift van 0, 150 en 300 kg · ha⁻¹ (naar Van Wijk en Feddes, 1975).



het tijdstip waarop een weidesnede beschikbaar was gemiddeld 4 dagen eerder werd bereikt dan bij een onvoldoende ontwatering.

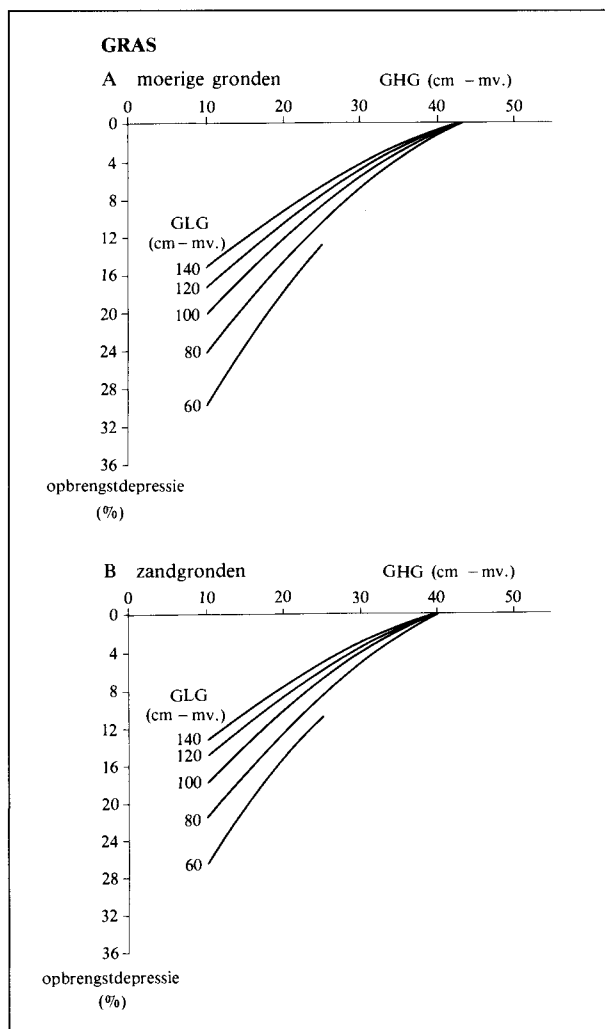
Door de veelheid en het complexe karakter van de factoren die een rol spelen bij wateroverlast op grasland, zijn er nauwelijks of geen gegevens bekend over het *totale* effect van wateroverlast op de *netto*-productie van grasland. Dit wordt mede veroorzaakt door het feit dat er geen geschikte methoden zijn om de netto-productie te meten. Bovendien speelt hierbij de bedrijfsvoering (veebezetting, beweidingssysteem, graslandverzorging etc.) een belangrijke rol.

Depressiecurven CoGroWa

Door de Commissie Grondwaterwet Waterleidingbedrijven wordt voor schadeberekeningen in geval van grondwaterstands daling door grondwateronttrekking voor zowel grasland als voor akkerbouwgewassen gebruik gemaakt van empirische relaties tussen de totale opbrengstdepressie door wateroverlast en de ontwateringssituatie uitgedrukt in termen van GHG en GLG (fig. 4.4.14 en 4.4.15). Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen zandgronden en gronden met een venige of moerige bovengrond. Voor kleigronden en gronden met een kleiige bovengrond wordt voorlopig aangenomen dat de depressie door wateroverlast gelijk is aan de depressie op moerige gronden. Bij akkerbouwmatige tuinbouw wordt de depressie in voorkomende gevallen gelijk gesteld aan de opbrengstdepressie bij akkerbouw.

Zowel voor grasland als voor akkerbouwgewassen is de grondwaterstand in het voorjaar relatief gezien van grote invloed op de opbrengstdepressie door wateroverlast. Aangezien de gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand een sterke samenhang vertoont met de GHG, is voor de bepaling van de mate van wateroverlast de GHG van overwegende invloed.

Figuur 4.4.4.
Opbrengstdepressie door wateroverlast voor grasland op moerige gronden (A) en zandgronden (B) (ontleend aan Commissie Grondwaterwet Waterleidingbedrijven, 1984).

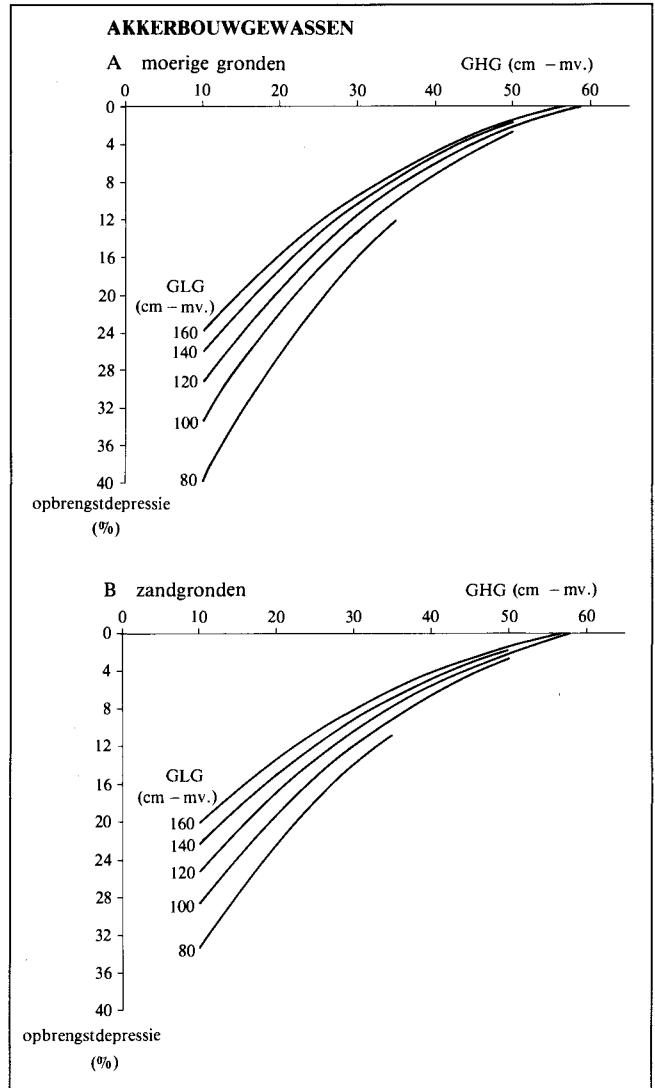


De invloed van de GLG op de opbrengstdepressie door wateroverlast is relatief gering en neemt af naarmate de GLG op grotere diepte voorkomt. Bij een GLG dieper dan circa 1,5 m beneden het maaiveld wordt de mate van wateroverlast vrijwel uitsluitend bepaald door de GHG.

De depressiecurven geven de gemiddelde depressies over een reeks van jaren. Van jaar tot jaar kunnen echter grote verschillen voorkomen afhankelijk van het feitelijke grondwaterstandsverloop en de meteorologische omstandigheden.

Figuur 4.4.5.

Opbrengstdepressie door wateroverlast voor **akkerbouwgewassen** op **moerige gronden (A)** en **zandgronden (B)** (ontleend aan Commissie Grondwaterwet Waterleiding-bedrijven, 1984).



Modelonderzoek

Een belangrijk gegeven dat nodig is om het effect van de ontwatering op de opbrengst van landbouwgewassen te kwantificeren, is het tijdstip van zaaien of poten voor bouwland en het moment van voldoende draagkracht in het voorjaar van grasland. Het tijdstip en het aantal dagen waarop de grond in het voorjaar bewerkbaar (bouwland) of voldoende draagkrachtig (grasland) is, kan worden vastgesteld door na te gaan wanneer de grenswaarde van de drukhoogte wordt overschreden. Het verloop van de drukhoogte in de

bouwvoor of de zodanig wordt hiertoe van dag tot dag gesimuleerd. Het toepassen van deze procedure is mogelijk geworden door het beschikbaar komen van modellen die de stroming van water door onverzadigde grond beschrijven in afhankelijkheid van neerslag/verdamming, bodemeigenschappen en ontwatering. Voorbeelden hiervan zijn het numeriek model FLOW (*Wind and Van Doorne*, 1975) en het elektrisch analogon ELAN (*Wind*, 1979). In het kader van het onderzoek naar een methode voor evaluatie van landinrichtingsplannen ontwikkelden *Van Wijk e.a.* (1984) het model FLOWEX (Flow-extended). Indien nu de invloed van bijvoorbeeld het zaai/poottijdstip, de oogstdatum en eventueel andere van belang zijnde factoren op de opbrengst bekend zijn, kan met behulp van deze modellen de invloed van wateroverlast op de opbrengst en het effect van ontwatering worden berekend. Voor een beperkt aantal gronden zijn op deze wijze de opbrengstreducties van aardappelen en graan berekend voor verschillende combinaties van draandiepte en drainintensiteit. Voor grasland zijn nog geen berekeningen uitgevoerd omdat de relatie tussen draagkracht en beweiding(s(vertrappings)verliezen niet bekend is. Door middel van proefveldonderzoek wordt getracht hier meer inzicht in te krijgen. Ook de wijze van graslandgebruik (weide/maaischema) heeft invloed op de produktie. Naar de invloed hiervan wordt eveneens onderzoek verricht.

HELP-tabellen

Ten behoeve van de evaluatie van landinrichtingsplannen zijn door een hiertoe ingestelde werkgroep voor zowel grasland als bouwland tabellen opgesteld waarin voor 70 bodemtypen per Gt de opbrengstdepressies als gevolg van wateroverlast en als gevolg van vochttekort zijn weergegeven (*Werkgroep HELP-tabel*, 1987). De opbrengstdepressies door vochttekort zijn gebaseerd op berekeningen met het model LAMOS, een pseudo-stationair model voor onverzadigde grondwaterstroming.

De opbrengstdepressies door wateroverlast zijn vastgesteld op basis van praktijkinzicht en de resultaten van proefveldonderzoek en dragen diengevolge een empirisch karakter. Voor bouwland is het gemiddelde niveau van de wateroverlastdepressie getoetst aan en afgestemd op de uitkomsten van de berekeningen met het model FLOWEX. Voor grasland kon een dergelijke toetsing echter nog niet plaatsvinden.

In tabel 4.4.6 en 4.4.7 zijn voor een aantal veel voorkomende bodemtypen de depressiepercentages volgens de HELP-tabel weergegeven. De belangrijkste hieraan ten grondslag liggende randvoorwaarden en uitgangspunten zijn in het navolgende kort samengevat.

- De opbrengstdepressies zijn uitgedrukt in een percentage van de praktisch potentiële opbrengst (zie par. III.4.4.2).
- Voor grasland is uitgegaan van het in figuur 4.4.3 gegeven verband tussen het opbrengsteffect per mm en potentiële opbrengst. De potentiële opbrengst per jaar is berekend op basis van vergelijking 4.4.4, waarbij de gemiddelde potentiële produktie is gesteld op 13.500 kg ds.
- Voor bouwland is uitgegaan van lineair verband tussen het berekende vochttekort van de in beschouwing genomen gewassen en de opbrengstdepressie (vergelijking 4.4.11b).
- De depressiepercentages zijn gemiddelden, berekend over een periode van 30 jaar.

- De gebruikte neerslag- en verdampingscijfers zijn ontleend aan het Maandoverzicht van de Weersgesteldheid van het K.N.M.I. en hebben betrekking op het waarnemingsstation De Bilt.
- Gerekend is met tijdstappen van 10 dagen (decaden).
- De waarde van de potentiële verdamping is berekend met behulp van de in hfdst. III. 2.3. tabel 2.3.6 vermelde gewasfactoren.
- De depressiepercentages voor akkerbouw zijn gebaseerd op een gewogen gemiddelde voor een bepaald bouwplan. De samenstelling van het bouwplan varieert afhankelijk van het hoofdbodemtype. Onderscheiden zijn de volgende bouwplansamenstellingen:

Gewas	Bodemtype		
	veen- en moerige gronden	klei gronden	zand-gronden
graan	25 %	50 %	-
maïs	-	-	50 %
aardappelen	50 %	25 %	25 %
suikerbieten	25 %	25 %	25 %

- Gerekend is met een afnemende beschikbaarheid van het bodemvocht bij toenemende uitdroging (sink-functie, zie par. III.3.3.5) op basis van een lineair verloop met de pF. De pF-waarde waarboven de beschikbaarheid afneemt, is voor gras gesteld op 2,6, voor aardappelen op 2,65, voor bieten en granen op 2,8 en voor maïs op 2,9.
- Teneinde het effect van een in de tijd toenemende bewortelingsdiepte bij akkerbouwgewassen in rekening te brengen, is gerekend met een getrapte bewortelingsdiepte. Voor het begin van het groeiseizoen is de bewortelingsdiepte gesteld op de helft van de uiteindelijke diepte. Het tijdstip waarbij overgegaan wordt van de halve op de volledige bewortelingsdiepte varieert, en is afhankelijk van het gewas en de dikte van de totale effectieve wortelzone. Naarmate de totale effectieve wortelzone dunner is, wordt de einddiepte eerder bereikt. De gehanteerde waarden voor de totale effectieve bewortelingsdiepte zijn vermeld in tabel 4.4.3.
- Voor de vocht karakteristieken van de wortelzones is gebruik gemaakt van door de Stichting voor Bodemkartering gemeten waarden.
- In verband met het optreden van irreversibele indroging bij veengronden en moerige gronden zijn de berekende opbrengstdepressies voor deze gronden op Gt III* en IV met 10 %, op Gt V en V* met 30 % en op Gt VI met 50 % verhoogd.
- Voor de invulling van het capillair geleidingsvermogen van de ondergrond is gebruik gemaakt van gemeten $k(h)$ -relaties van ongestoorde monsters.
- Om het effect van horizontale scheuren in rekening te brengen, is voor klei- en leemgronden een reductie op de $k(h)$ -relatie toegepast. De mate van reductie is afhankelijk van het leem- en/of lutumgehalte.
- Het effect van verticale scheurvorming bij klei- en veengronden (kortsluiting) is in rekening gebracht door een reductie op de neerslag. De mate van reductie varieert afhankelijk van het lutumgehalte (kleigronden) en de Gt (veengronden) van 10 tot 20 %.

Tabel 4.4.6. Gemiddelde opbrengstdepressie door wateroverlast en door verdroging in % van de potentiële opbrengst en gemiddeld vochttekort in mm bij grasland voor een aantal veel voorkomende bodemtypen volgens de HELP-tabel

grondwatertrap	GRASLAND			Veen- en moerige gronden		Zandgronden						Kleigronden H/A = homogeen of aflopend O = oplopend					
	Gem. Hoogste Grondwaterstand (GHG)	Gem. Laagste Grondwaterstand (GLG)	aard van de depressie ¹	koopveengrond (kleine bovengrond)	broekveengrond of moerpodzolgrond	veldpodzolgrond (matig fijn, zw. leemig)	laarpodzolgrond (matig fijn, zw. leemig)	gooreedgrond (matig fijn, zw. leemig)	beekveengrond (matig fijn, st. leemig)	enkeerdgrond (matig fijn, zw. leemig)	matig zware klei profielverloop 1	matig zware klei profielverloop 2	matig zware klei profielverloop 3 en/of 4	matig zware klei profielverloop 5 H/A	matig zware klei profielverloop 5 O		
Gt	GHG	GLG	I)	hV	vW	H 1a	ch 1a	tZ 1a	tZ 1b	Ez 1a	Kk 1a	Kk 2a	Kk 3,4a	Kk 5H/A	Kk 5O		
II	5 15 10	70	Wa	30	33	22	24	22	26	24	28	26	31	28	28		
			Wa	21	24	14	15	14	17	15	19	17	22	19	19		
			Dr	3	2	2	1	2	1	1	2	1	4	1	2		
			Vo	11	7	7	3	7	3	3	7	3	15	3	7		
II*	25	75	Wa	14	17	8	9	8	10	9	12	10	15	12	13		
			Dr	4	3	2	1	2	1	1	2	1	5	1	2		
			Vo	15	11	7	3	7	3	3	7	3	19	3	7		
III	10 20	105	Wa	20	23	13	14	13	15	14	19	17	23	18	20		
			Wa	13	16	7	8	7	9	8	12	10	16	11	13		
			Dr	7	6	4	2	4	2	1	6	2	13	2	2		
			Vo	27	23	15	7	15	7	3	23	7	54	7	7		
III*	30	110	Wa	7	10	3	4	3	5	4	7	5	11	6	7		
			Dr	8	7	5	3	5	3	1	7	2	15	3	3		
			Vo	32	27	19	11	19	11	3	27	7	63	11	11		
IV	50	110	Wa	1	1	0	0	0	0	0	2	1	4	1	2		
			Dr	8	7	5	3	6	3	1	7	2	15	3	3		
			Vo	32	27	19	11	23	11	3	27	7	63	11	11		
V	25	140	Wa	8	10	4	5	3	5	5	7	5	11	7	8		
			Dr	15	14	9	6	11	7	3	14	10	22	4	5		
			Vo	63	58	36	23	45	27	11	58	41	94	15	19		
V*	35	150	Wa	4	5	0	1	0	2	1	3	2	7	3	4		
			Dr	17	17	12	8	14	9	4	16	15	23	6	8		
			Vo	72	72	49	32	58	36	15	67	63	98	23	32		
VI	60	170	Wa	1	1	0	0	0	0	0	2	1	4	1	2		
			Dr	23	24	17	12	20	14	7	20	23	27	9	11		
			Vo	98	103	72	49	85	58	27	85	98	116	36	45		
VII	100	200	Wa	-	-	0	0	0	0	0	2	1	4	1	2		
			Dr	-	-	22	18	25	22	13	24	32	30	14	17		
			Vo	-	-	94	76	107	94	54	103	138	129	58	72		
VII*	160	260	Wa	-	-	0	0	0	0	0	2	1	4	1	2		
			Dr	-	-	27	24	29	26	20	29	36	34	22	26		
			Vo	-	-	116	103	125	112	85	125	156	147	94	112		

- 1) Wa = opbrengstdepressie door wateroverlast in %
 Dr = opbrengstdepressie door verdroging in %
 Vo = Vochttekort in mm

2) HELP - code bodemprofiel

Tabel 4.4.7. Gemiddelde opbrengstdepressie door wateroverlast en door verdroging in % van de potentiële opbrengst en gemiddeld vochttekort in mm bij bouwland voor een aantal veel voorkomende bodemtypen volgens de HELP-tabel.

BOUWLAND			Moerige gronden		Zandgronden					Kleigronden H/A = homogeen of aflopend O = oplopend				
grondwatertrap	Gem. Hoogste Grondwaterstand (GHG)	Gem. Laagste Grondwaterstand (GLG)	aard van de depressie ¹	veenkoloniaal dek (niet verbeterd)	veenkoloniaal dek (verbeterd)	veldpodzolgrond (matig fijn, zw. lemig)	laarpodzolgrond (matig fijn, zw. lemig)	gooreerdgrond (matig fijn, zw. lemig)	enkeerdgrond (matig fijn, zw. lemig)	matig zware klei profielverloop 2	zavel profielverloop 2	matig zware klei profielverloop 5 H/A	zavel profielverloop 5 H/A	matig zware klei profielverloop 5 O
Gt	GHG	GLG	1)	iW	iW*	H 1a	cH 1a	tZ 1a	EZ 1a	Kk 2a	Kk 2a	Kk 5H/A	Kk 5H/A	Kk 5O
II	5		Wa											
	15		Wa											
	10	70	Dr											
II*	25	75	Vo											
			Wa											
			Dr											
III	10		Wa	40	34	29	30	29	30	34	30	35	31	37
	20		Wa	30	25	21	22	21	22	25	21	26	22	28
	15	105	Dr	35	29	25	26	25	26	29	25	30	26	32
III*	30	110	Vo	6	2	4	2	4	1	1	1	1	0	2
			Wa	20	7	15	7	15	3	3	3	3	0	7
			Dr	22	17	14	15	14	15	18	14	19	16	20
IV	50	110	Vo	7	3	4	3	5	1	2	1	1	0	2
			Wa	23	10	15	11	19	3	7	3	3	0	7
			Dr	10	7	4	5	4	5	8	5	9	7	10
V	25	140	Vo	7	3	5	3	6	1	2	1	1	0	2
			Wa	23	10	19	11	22	3	7	3	3	0	7
			Dr	21	16	13	14	13	14	16	13	17	15	19
V*	35	150	Vo	14	6	9	6	10	3	9	6	3	1	4
			Wa	46	20	33	22	37	11	30	20	10	3	13
			Dr	14	10	7	8	7	8	11	8	12	10	13
VI	60	170	Vo	17	8	11	8	13	4	13	8	3	1	4
			Wa	56	27	41	30	48	15	44	27	10	3	13
			Dr	5	2	0	1	0	1	6	3	7	5	8
VII	100	200	Vo	24	14	16	13	18	8	22	14	5	2	6
			Wa	80	46	59	48	67	30	74	47	17	7	20
			Dr	2	0	0	0	0	0	4	2	4	2	5
VII*	160	260	Vo	34	21	21	19	25	15	31	21	9	4	11
			Wa	113	70	78	70	93	56	104	71	30	13	37
			Dr	-	-	0	0	0	0	4	2	4	2	5
			Vo	-	-	26	25	29	22	35	24	22	9	26
			Wa	-	-	96	93	108	82	118	81	74	30	87
			Dr	-	-									

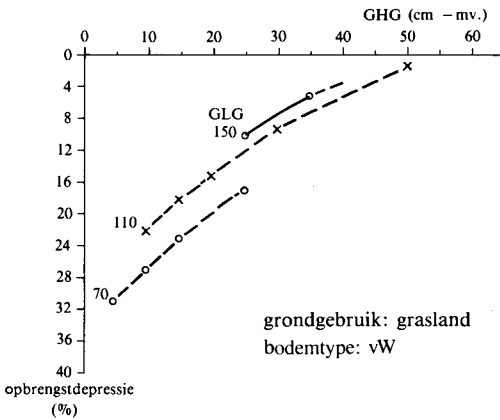
1) Wa = opbrengstdepressie door wateroverlast in %
 Dr = opbrengstdepressie door verdroging in %
 Vo = Vochttekort in mm

2) HELP-code bodemprofiel

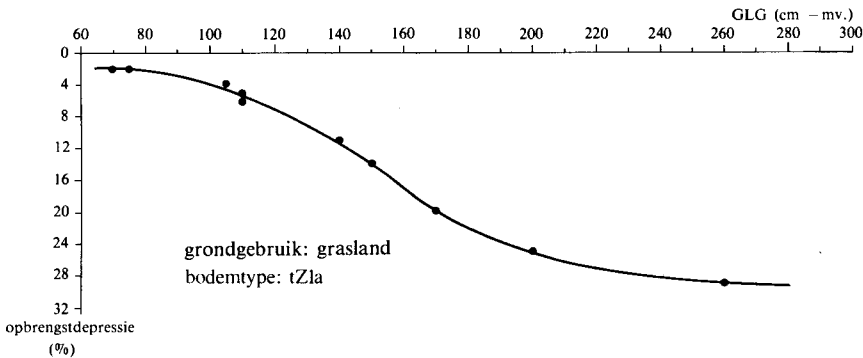
Depressiepercentages voor combinaties van GHG en GLG welke niet in de tabellen vermeld zijn, kunnen worden benaderd door de in de tabel vermelde waarden grafisch weer te geven (zie voorbeeld fig. 4.4.16 en 4.4.17).

Ten aanzien van de wateroverlastdepressie worden de depressiepercentages uitgezet tegen de GHG. Teneinde de invloed van de GLG tot uitdrukking te brengen, worden alleen punten met een bij benadering gelijke waarde van de GLG met elkaar verbonden. Ondercheiden kunnen worden punten met een GLG-waarde van 70-75 (Gt II, II*), 105-110 (Gt III, III* en IV) en ≥ 140 (Gt V, V* en evt. VI).

De depressiepercentages door vochttekort worden uitgezet tegen de GLG. Aan de hand van de op bovenomschreven wijze te construeren depressiecurven kan door interpolatie of extrapolatie de depressie voor willekeurige combinaties van GHG en GLG worden benaderd.



Figuur 4.4.16. Voorbeeld grafische weergave van de opbrengstdepressie door wateroverlast in relatie tot de GHG.



Figuur 4.4.17. Voorbeeld grafische weergave van de opbrengstdepressie door vochttekort in relatie tot de GLG.

4.4.7. Literatuur

- Abrahamse, A.H., G. Baarse, and E. van Beek, 1982.
Vol. XII, Model for regional hydrology, Agricultural water demands and damages from drought and salinity. Santa Monica, Rand Corp., PAWN reports, April 1982. N-1500/12-NETH.
- Beuving, J., 1982.
Onderzoek naar bodem- en waterhuishoudkundige gegevens voor invoer in en verificatie van een model voor berekening van de effecten van de waterhuishouding. Nota 1378. Instit. voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Wageningen.
- Bierhuizen, J.F. and R.O. Slatyer, 1965.
Effect of atmospheric concentration of water vapor and CO₂ in determining transpiration-photosynthesis relationships of cotton leaves. Agric. Meteor. 2: p.259-270.
- Bloemen, G.W., 1982.
De capillaire eigenschappen van de gronden in het wateraanvoergebied "De Monden". Nota 1332. Instit. voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Wageningen.
- Boekel, P., 1973.
De betekenis van de ontwatering voor de bodemstructuur op de zavel- en lichte kleigronden. Rp. 5-1973. Inst. voor Bodemvruchtbaarheid, Haren.
- Boheemen, P.J.M. van, 1981.
Toename van de produktie van grasland bij verbetering van de watervoorziening. Nota 1298. Instit. voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Wageningen.
- Boheemen, P.J.M. van, 1982.
Een ervaring met de PAWN-droogteschadefunctie voor consumptie-aardappelen. Nota 1360. Instit. voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Wageningen.
- Bouma, J., and P.J.M. de Laat, 1981.
Estimation of the moisture supply capacity of some swelling clay soils in the Netherlands. J. Hydrol. 49: p.247-259.
- Commissie Grondwaterwet Waterleidingbedrijven, 1984.
Landbouwkundige aspecten van grondwateronttrekking. Berekening van schade als gevolg van kunstmatige verlaging van de grondwaterstand. Rapport van de Werkgroep Landbouwkundige Aspecten.
- Consulentschap voor de Akkerbouw in de IJsselmeerpolders en Noord-Holland, z.j.
Akkerbouw Centraal nr. 3, Berekening, uitgave van het Consulentschap voor de Akkerbouw in de IJsselmeerpolders en Noord-Holland te Lelystad.
- Dekker, L.W., J. Bouma, W. Luten en G. Krist, 1981.
Effectiviteit van beregening op komkleigrasland. Cultuurtechn. Tijdschr. 20(5): p.263-270.
- Doornbos, J., H. van der Straten en H. Wieling, 1977.
Beregening op melkveebedrijven. Rp. 53. Proefstation voor de Rundveehouderij, Lelystad.
- Feddes, R.A., 1971.
Water, heath and crop growth. Thesis Comm. Agric. Univ. Wageningen 71-12.
- Feddes, R.A. and A.L.M. van Wijk, 1977.
An integrated model-approach to the effect of water management on crop yield. Agric. Water Man. 1: p.3-20. Ook: Techn. Bull. 103, Instit. voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Wageningen.
- Feddes, R.A., P.J. Kowalik and H. Zaradny, 1978.
Simulation of fieldwater use and crop yield. Simulation Monographs Series, Pudoc, Wageningen.
- Feddes, R.A., 1979.
Gewasproduktie en watergebruik. Basisrapport Commissie Bestudering Waterhuishouding Gelderland. Ook nota 1118, Instit. voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Wageningen.
- Feddes, R.A., J.G. Wesseling and J. Wiebing, 1984.
Simulation of transpiration and yield of potatoes with the SWACRO-model. In: Proceedings of the 9th triennial conference of the European Association of Potato Research. p. 346-348, Interlaken, Switzerland.
- Heemst, H.D.J. van, H. van Keulen en H. Stolwijk, 1978.
Potentiële produktie, bruto- en nettoproduktie van de Nederlandse landbouw.
Versl. Landbouwk. Ond. 879. Pudoc, Wageningen.

- Hellings, A.J., z.j.
- Het verband tussen waterverbruik en opbrengst bij gewassen zonder duidelijke gevoelige stadia.
 - Het verband tussen waterverbruik en opbrengst bij gewassen met duidelijk te onderscheiden gevoelige perioden.
- Rijksconsulentenschap voor Bodem- en Bemestingsvraagstukken, Wageningen.
- Hellings, A.J., 1980.
- Berekeningseffecten bij enkele akkerbouwgewassen. Bedrijfsontw. 11(11): p. 1063-1068. Ook: Verspr. Overdr. 257, Instit. voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Wageningen.
- Hellings, A.J., M. de Graaf en D.A. van der Schans, 1982.
- De relatie tussen wateraanvoer, verdamping en produktie bij het gewas aardappelen. Verslag van een veldproef op het proefterrein Sinderhoeve in 1981. Nota 1376. Instit. voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Wageningen.
- Henkens, Ch.H., 1984.
- Het stikstofleverend vermogen van graslandgronden bij verschillende grondwatertrappen. De Buffer, 30(4): p.82-100. Consulentenschap voor Bodemaangelegenheden in de landbouw, Wageningen.
- Houben, J.M.M.Th., 1979.
- Bodemgesteldheid en diepte van beworteling. Rp. 1459. Stichting voor Bodemkartering, Wageningen.
- Krabbenborg, A.J., J.N.B. Poelman en E.J. van Zuilen, 1983.
- Standaardvochtkarakteristieken van zand- en veenkoloniale gronden. Rp. 1680. Stichting voor Bodemkartering, Wageningen.
- Landbouw-economisch Instituut, Centraal Bureau voor de Statistiek, 1985.
- Landbouwcijfers, 1985.
- Mandersloot, F., 1984.
- Rendabiliteit van beregning op melkveebedrijven en waterbehoefte van Gelderse landbouwgronden. Basisrapport 4, Rendabiliteit van beregning op gezinsbedrijven. Rp. 96. Proefstation voor de rundveehouderij, schapenhouderij en paardenhouderij, Lelystad.
- Mooy, H., 1981 (niet gepubliceerd).
- Vochtleverantie van gelaagde ondergronden. Interne notitie Technisch Secretariaat CoGroWa.
- Nieuwenhuis, G.J.A. en C.L. Palland, 1982.
- Verdamping van een aardappelgewas en de meting daarvan via remote sensing. Rp. 2. Instit. voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Wageningen.
- Poelman, J.N.B. en Th. van Egmond, 1979.
- Uit eenvoudige grootheden af te leiden pF-waarden voor de rivier- en zeekleigronden. Rp. 1492. Stichting voor Bodemkartering, Wageningen.
- Rijtema, P.E. and G. Endrödi, 1970.
- Calculation of produktion of potatoes. Neth. J. Agric. Sci. 18: p.26-36. Ook Techn. Bull. 70, Instit. voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Wageningen.
- Schneider, C.B.H., 1978.
- Produktie en ontwatering. Bedrijfsontw. 9(9): p.777-783.
- Schothorst, C.J., 1963.
- Beweidingsverliezen op diverse graslandgronden. Landbouwk. Tijdschr. 75-15: p.869-878.
- Sieben, W.H., 1964.
- Het verband tussen ontwatering en de opbrengst op de jonge zavelgronden in de Noordoostpolder. Van Zee tot Land nr. 40. Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders, Lelystad.
- Stewart, J.I. e.a., 1977.
- Optimizing crop production through control of water and salinity levels in the soil. Report PRWG 151-1. Utah Water Res. lab., Utah State Univ., Logan: 191.
- Stichting voor Bodemkartering, 1983.
- Jaarverslag 1982. Stichting voor Bodemkartering, Wageningen.
- Visser, J., 1983.
- De invloed van grondwaterregime en stikstofbemesting op de opbrengst en kwaliteit van appels. Flevo-bericht, nr. 201. Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders, Lelystad.

- Werkgroep HELP-tabel, 1987.
De invloed van de waterhuishouding op de landbouwkundige produktie. Landinrichtingsdienst, Utrecht.
- Wind, G.P., 1960.
Opbrengstderiving door te laat zaaien. Landbouwk. Tijdschr. 72(4): p.111-118.
- Wind, G.P., 1963.
Gevolgen van wateroverlast in de moderne landbouw. Versl. en Meded. 9: p.55-72. Comm. Hydr. Onderz. TNO, 's-Gravenhage.
- Wind, G.P. and W. van Doorne, 1975.
A numerical model for the simulation of unsaturated vertical flow of moisture in soils. J. Hydrol. 24: p.1-20. Ook: Techn. Bull. 101, Instit. voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Wageningen.
- Wind, G.P., 1979.
Analog modeling of transient moisture flow in unsaturated soil. Agr. Res. Rp. 894. Pudoc, Wageningen.
- Wit C.T. de, 1965.
Photosynthesis of leaf canopies. Agr. Res. Rep. 663. Pudoc, Wageningen.
- Wit, C.T. de, e.a., 1978.
Simulation of assimilation, respiration and transpiration of crops. Simulation Monographs Series, Pudoc, Wageningen.
- Wösten J.H.M., M.H. Bannink en J. Beuving, 1987.
Waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken van boven- en ondergronden in Nederland: De Starringsreeks. Rp. 1932. Stichting voor Bodemkartering. Ook: Rp. 18. (nieuwe serie). Instit. voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Wageningen.
- Wijk, A.L.M. van en R.A. Feddes, 1975.
Invloed van de waterhuishouding op de opbrengst van landbouwgewassen. Nota 867. Instit. voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Wageningen.
- Wijk, A.L.M., G.P. Wind, and J. Buitendijk, 1984.
FLOWEX, numerical model for simulation of vertical flow of water through unsaturated, layered soils. Instit. voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Wageningen.

5. Waterkwaliteit

5.1. Samenstelling en kwaliteitsparameters van het water

5.1.1. Algemeen

Met de waterkwaliteit wordt de algemene chemische, fysische en microbiologische toestand van het water bedoeld. Deze toestand kan worden beschreven met behulp van *kwaliteitsparameters*.

Wanneer de belasting, dat wil zeggen de in het water aanwezige bijmengsels, zodanig is veranderd dat het water minder geschikt is geworden voor één of meer functies of toepassingen, dan spreekt men van *waterverontreiniging*. Hierbij worden onderscheiden:

- *fysische* kenmerken, bijvoorbeeld temperatuur, drijvende stoffen, kleur en smaak;
- *chemische* verontreinigingen
 - . organische, bijvoorbeeld eiwitten, vetten en humuszuren;
 - . anorganische, bijvoorbeeld chloride, sulfaat, nitraat en fosfaat;
- *biologische* verontreinigingen, bijvoorbeeld virussen, bacteriën en algen.

Er kan onderscheid worden gemaakt in de voedingsstoffen waarmee het water wordt belast, de zogenaamde *primaire* verontreiniging en de hierna optredende biologische processen zoals groei van algen en waterplanten, ook wel *secundaire* verontreiniging genoemd.

5.1.2. Begrippen

Accumulatie	: ophoping van een stof waardoor de concentratie ervan hoger wordt dan van de omgeving
Aëroob	: zuurstofhoudend
Anaëroob	: zonder zuurstof
Antagonisme	: het verschijnsel dat stoffen elkaars werking afzwakken
B.Z.V. (B.O.D.)	: biochemisch zuurstofverbruik (biological oxygen demand). De hoeveelheid zuurstof die nodig is om organische stof biologisch te oxyderen tot de componenten CO_2 , H_2O en NH_4^+ ($\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$)
C.Z.V. (C.O.D.)	: chemisch zuurstofverbruik (Chemical oxygen demand). De hoeveelheid zuurstof die nodig is om organische stoffen te oxideren tot de componenten CO_2 , H_2O en NH_4^+ ($\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$). Er zijn ook nog enkele anorganische stoffen die kunnen worden geoxideerd.
S.A.R.	: sodium adsorption ratio. Dit is een maat voor de verhouding natrium-calcium plus magnesium.

$$S.A.R. = \frac{Na^+}{\left(\frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{2} \right)^{1/2}}$$

met Na^+ , Ca^{2+} en Mg^{2+} in $meq \cdot l^{-1}$

Synergisme : het verschijnsel dat stoffen elkaars werking versterken
 Zwaar metaal : een metaal met een massa groter dan $4 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$

5.1.3. De atoommassa van een aantal elementen

Tabel 5.1.1. De atoommassa van een aantal elementen.

Element	Afk.	Atoom- massa	Element	Afk.	Atoom- massa	Element	Afk.	Atoom- massa
waterstof	H	1,0	aluminium	Al	27,0	Mangaan	Mn	54,9
borium	B	10,8	silicum	Si	28,1	ijzer	Fe	55,9
koolstof	C	12,0	fosfor	P	31,0	nikkel	Ni	58,7
stikstof	N	14,0	zwavel	S	32,1	koper	Cu	63,5
zuurstof	O	16,0	chloor	Cl	35,5	zink	Zn	65,4
fluor	F	19,0	kalium	K	39,1	cadmium	Cd	112,4
natrium	Na	23,0	calcium	Ca	40,1	kwik	Hg	200,6
magnesium	Mg	24,3	chrom	Cr	52,0	lood	Pb	207,2

1 mol = x gram

x = atoom- c.q. molecuulmassa

equivalent = $\frac{\text{mol}}{\text{valentie}}$

equivalent-gewicht (oud) = $\frac{\text{atoom- c.q. molecuulmassa}}{\text{valentie}}$

5.1.4. De soortelijke geleiding

De soortelijke geleiding is een maat voor de hoeveelheid opgeloste ionen in het water. Het wordt ook wel het elektrisch geleidingsvermogen (*E.G.V.*) of de electrical conductivity (*E.C.*) genoemd. Het is uitgedrukt in de reciproke weerstand Ω^{-1} , of Siemens (S), meestal als $\mu S \cdot \text{cm}^{-1}$ bij 25°C of als $\text{mS} \cdot \text{m}^{-1}$ bij 20°C

$1 \mu S \cdot \text{cm}^{-1}$ (bij 25°C) = $0,0901 \text{ mS} \cdot \text{m}^{-1}$ (bij 20°C)

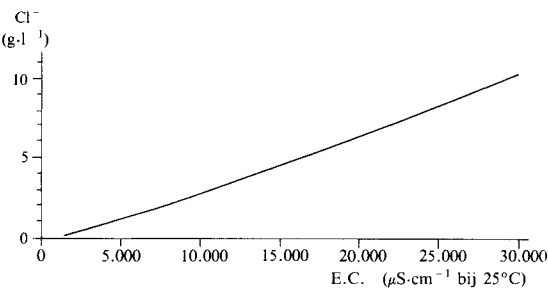
Voor lage concentraties is de soortelijke geleiding te berekenen. Voor de belangrijkste ionen bedraagt dit in $\mu S \cdot \text{cm}^{-1}$ (bij 25°C):

$$350\, c(\text{H}^+) + 73,4\, c(\text{NH}_4^+) + 50,1\, c(\text{Na}^+) + 119\, c(\text{Ca}^{2+}) + 106,2\, c(\text{Mg}^{2+}) + 76,4\, c(\text{Cl}^-) + 71,4\, c(\text{NO}_3^-) + 160\, c(\text{SO}_4^{2-}).$$

Hierin is *c* de concentratie in mmol·l⁻¹.

Aan de hand van de wateranalyses blijkt dat er in Nederland een duidelijk verband bestaat tussen het chloridegehalte en de soortelijke geleiding. Dit verband is weergegeven in figuur 5.1.1.

*Figuur 5.1.1.
Het verband tussen het chloridege-
halte en de soortelijke geleiding in
Nederland.*



Bij het gereduceerde geleidingsvermogen is het aandeel van de H⁺-ionen bij het totale geleidingsvermogen in mindering gebracht. De reductie bedraagt:

$350 \times 10^3 - \text{pH}$ (in $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ bij 25°C). Bij pH-waarden van meer dan 5,0 is de bijdrage van de H⁺-ionen te verwaarlozen.

5.1.5. Het zuurstofgehalte

In tabel 5.1.2 staat de verzadigingswaarde van zuurstof in water bij een barometerstand van 760 mm kwikdruk aangegeven. Deze waarde is afhankelijk van de temperatuur en het chloridegehalte van het water.

Tabel 5.1.2. Verzadigingswaarde van zuurstof in water bij 760 mm kwikdruk (*American public health association, 1960*).

Temp. °C	Gehalte aan chloride in mg·l ⁻¹			Verschil per 100 mg chloride
	0	10.000	20.000	
	verzadigingswaarde in mg·l ⁻¹			
0	14,6	13,0	11,3	0,017
5	12,8	11,4	10,0	0,014
10	11,3	10,1	9,0	0,012
15	10,2	9,1	8,1	0,010
20	9,2	8,3	7,4	0,009
25	8,4	7,6	6,7	0,008
30	7,6	6,9	6,1	0,008

De zuurstofopname is afhankelijk van het type water en het verzadigingspercentage. Zie tabel 5.1.3.

Tabel 5.1.3. De zuurstofopname voor enkele typen water en bij verschillende verzadigingspercentages bij 20°C ($\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$) (Imhoff, 1966).

Verzadiging	100%	80%	60%	40%	20%	0%
kleine vijver	0	0,3	0,6	0,9	1,2	1,5
groot meer	0	1,0	1,9	2,9	3,8	4,8
langzaam stromende rivier	0	1,3	2,7	4,0	5,4	6,7
matig stromende rivier	0	1,9	3,8	5,8	7,6	9,6
snel stromende rivier	0	3,1	6,2	9,3	12,4	15,5
rivier met stroomversnellingen	0	9,6	19,2	28,6	38,4	48,0

5.1.6. Het stikstofgehalte

In het water is een aantal stikstofverbindingen aanwezig. De volgende wateranalyses zijn het meest gangbaar:

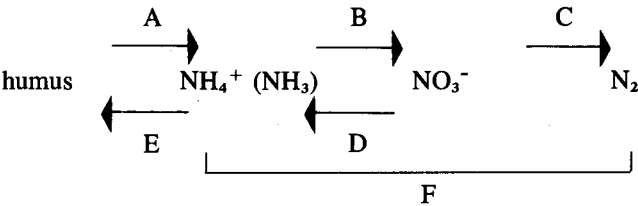
- nitraat (NO_3^-)
 - nitriet (NO_2^-)
 - ammonium (NH_4^+)
 - organische stikstof
 - kjeldahl stikstof, dit is de som van ammonium en organische stikstof
 - totaal stikstof, dit is de som van nitraat, nitriet, ammonium en organische stikstof
 - anorganische stikstof
 - opneembare stikstof
 - minerale stikstof
- } dit is de som van nitraat, nitriet en ammonium

Om het stikstofaandeel van de diverse stikstofverbindingen onderling te kunnen vergelijken, is het noodzakelijk gehalten om te rekenen. Dit kan worden gedaan met de omrekeningsfactoren die in tabel 5.1.4. gegeven zijn. Hierbij dient het weergegeven in zuivere stikstof (N) de voorkeur.

Tabel 5.1.4. Omrekeningsfactoren voor stikstof.

Stikstof	N	NO_3^-	NO_2^-	NH_4^+
N	1	4,428	3,286	1,286
NO_3^-	0,226	1	0,742	0,290
NO_2^-	0,304	1,349	1	0,391
NH_4^+	0,778	3,444	2,555	1

De omzetting van de verschillende stikstofvormen:



- A = ammonificatie of mineralisatie
- B = nitrificatie
- C = denitrificatie
- D = nitraatreductie en immobilisatie
- E = immobilisatie
- F = stikstofbinding

5.1.7. Het fosforgehalte

Fosfor komt meestal als fosfaat in het water voor. De volgende wateranalyses zijn het meest gangbaar:

- orthofosfaat (PO₄³⁻);
- hydrolyseerbaar fosfaat, dit is de som van ortho- en polyfosfaten;
- totaal fosfaat, dit is de som van ortho, hydrolyseerbaar en anorganisch en organisch gebonden fosfaat.

Orthofosfaat wordt altijd uit een gefiltreerd watermonster bepaald. Als de poriediameter van het filter 0,45 µm bedraagt, spreekt men ook wel van opneembaar fosfaat (voor micro-organismen).

Voor meststoffen wordt het fosfaatgehalte meestal uitgedrukt in P₂O₅. Voor water is dit niet gebruikelijk, hiervoor verdient het uitdrukken in zuiver fosfor (P) de voorkeur. De omrekeningsfactoren staan in tabel 5.1.5.

Tabel 5.1.5. Omrekeningsfactoren voor fosfor.

Fosfor	P	PO ₄ ³⁻	P ₂ O ₅
P	1	3,065	2,290
PO ₄ ³⁻	0,326	1	0,747
P ₂ O ₅	0,437	1,338	1

5.1.8. De hardheid

Totale hardheid : totaal aan Ca- en Mg-ionen;
Tijdelijke hardheid: de Ca- en Mg-ionen die tijdens het koken met CO₃-ionen neerslaan;
Blijvende hardheid: het verschil tussen de totale en de tijdelijke hardheid.
De hardheid wordt vaak uitgedrukt in °D = Duitse graden; 1°D = 10 mg CaO·l⁻¹
De onderverdeling in °D is:

zeer zacht water	0	-	4	°D
zacht	4	-	8	°D
matig hard	8	-	12	°D
vrij hard	12	-	18	°D
hard	18	-	30	°D
zeer hard			> 30	°D

Verder zijn de volgende hardheidsgraden in gebruik:
10 mg·l⁻¹ CaCO₃ = 1 fH (Frankrijk)
10 mg·0,7 l⁻¹ CaCO₃ = 1 eH (Engeland)
10 mg·0,1 l⁻¹ CaCO₃ = 1 aH (Amerika)

5.1.9. De chemische samenstelling van de neerslag

Voor een negental verspreid liggende plaatsen staat in tabel 5.1.6 de gemiddelde samenstelling van de neerslag over de periode van 1978 t/m 1980 voor een aantal componenten.

Tabel 5.1.6. De samenstelling van de neerslag over de periode 1978 t/m 1980 voor een aantal componenten. (Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut, 1980).

Plaats	pH	Gel. verm. mS·m ⁻¹ (25°C)	Kationen (mg·l ⁻¹)						Anionen (mg·l ⁻¹)				
			H ⁺	NH ₄ ⁺ (N)	Na ⁺	K ²⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	NO ₃ ⁻ (N)	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	ortho-PO ₄ ³⁻ (P)
De Kooy													
(Den Helder)	4,2	8,7	0,07	0,88	6,5	0,33	0,84	0,83	11,5	0,90	6,6	0	0,01
Leeuwarden	4,3	6,1	0,05	1,20	3,2	0,22	0,64	0,42	5,7	0,80	6,1	0	0,01
Witteveen (Dr.)	4,3	5,3	0,06	1,29	1,5	0,18	0,52	0,22	2,8	0,81	6,0	0	0,01
Twente	4,3	5,5	0,06	1,58	1,2	0,15	0,60	0,20	2,2	0,90	6,6	0	0,01
Rotterdam	4,1	7,6	0,08	1,71	3,0	0,51	0,96	0,42	5,8	0,91	7,1	2,1	0,18
De Bilt	4,3	5,8	0,08	1,43	2,0	0,14	0,64	0,29	3,7	0,77	6,8	0	0,01
Vlissingen	4,2	12,1	0,07	1,04	10,1	0,47	1,52	1,32	18,3	0,99	9,9	0	0,06
Eindhoven	4,2	6,1	0,08	1,2	1,2	0,12	0,72	0,20	2,5	0,78	7,0	0	0,01
Beek (L.)	4,6	5,4	0,03	1,72	1,1	0,37	2,16	0,25	2,0	0,92	9,2	<0,4	0,08

Uit de tabel blijkt, dat de zee en de grote steden met veel industrie de samenstelling van de neerslag beïnvloeden.

5.1.10. De basisbelasting

Met de basisbelasting of het nulniveau wordt de niet door de mens beïnvloede samenstelling van het water bedoeld. De basisbelasting dient als referentieniveau. Verder kan het dienen om normen voor het waterkwaliteitsbeheer mee te kunnen bepalen.

De basisbelasting wordt beïnvloed door:

- de samenstelling van de neerslag;
- de samenstelling en de opbouw van de bodem;
- de hydrologische situatie.

Om de basisbelasting voor een bepaald grondtype te kunnen stellen, wordt wel aangenomen dat dit gelijk is aan de gehalten die in het grondwater in natuurgebieden worden aangetroffen.

Voor stikstof geldt, dat de bijdrage van nitraat en nitriet aan het totale stikstofgehalte over het algemeen zeer gering is.

Het aandeel van ammonium is hoog bij grondsoorten die rijk zijn aan organische stof in het profiel, zoals hoogveen, laagveen en afgegraven laagveen. Erg hoge gehalten worden doorgaans in mariene sedimenten aangetroffen. Voor zandgebieden geldt, dat het gehalte aan totaal-N over het algemeen lager is dan $1,0 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1} \text{ N}$.

In tabel 5.1.7 wordt een globale schatting van het fosfaatgehalte in het ondiepe grondwater en van de fosfaatbelasting op het oppervlakte-water gegeven.

Tabel 5.1.7. Globale schatting van de fosfaatbelasting op het oppervlaktewater als gevolg van natuurlijke uitlozing (Rijtema en Toussaint, 1982).

Bodemtype	Totale fosfaatbelasting	
	$\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$	$\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{jr}^{-1}$
veenweidegebieden	0,25	0,75
zeekleigebieden	0,24	0,72
overgang veen/zeeklei	0,50	1,50
rivierkleigebieden	0,05	0,15
zandgebieden	0,10	0,30
lössgebieden	0,15	0,45

5.1.11. Uitspoeling van meststoffen

De voedingsstoffen die niet via gewassen afgevoerd worden, kunnen met percolerend regenwater uitspoelen. De mate waarin het grondwater en vervolgens het oppervlaktewater in het landelijk gebied met deze stoffen belast wordt, is afhankelijk van:

- de aard van het bodemgebruik;
- het bemestingsniveau en de bemestingsvorm;
- de waterhuishouding;
- de grondsoort.

Stikstof en fosfaat worden als de belangrijkste eutrofiërende verbindingen beschouwd. De kwantitatief belangrijkste minerale N-verbindingen in de bodem zijn NO_3^- en NH_4^+ . Het NO_3^- -ion wordt ongeveer even snel verplaatst als het water, terwijl de NH_4^+ -ionen belangrijk worden vertraagd als gevolg van adsorptieprocessen. Bij het uitspoelingsproces van stikstof speelt dus NO_3^- een belangrijke rol. In tabel 5.1.8 is te zien dat de uitspoeling van stikstof afhangt van de mestgift en de zwaarte van de grond. De cijfers zijn ontleend aan lysimeteronderzoek waarbij is uitgegaan van een voeding van het grondwater van $250 \text{ mm} \cdot \text{jr}^{-1}$.

Tabel 5.1.8. Uitspoeling van stikstof op bouwland bij verschillende kunstmestgiften en voor verschillende grondsoorten (Kolenbrander, 1972).

Kunstmestgift ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{jr}^{-1} \text{N}$)	Bodemdeeltjes $< 16\mu$			
	0-10% zandig	10-20% lichte klei	20-30% klei	30-40% klei
30	1	0,5	0	0
60	4	2,5	0,5	0
90	11	6,5	2,5	0,4
120	24	16,0	7,0	1,2

In gebieden met intensieve veehouderij is het areaal snijmaïs sterk uitgebreid. Ondanks de geringe benutting van de toegevoerde stikstof voor het gewas bij hogere drijfmestgiften, is het verloop van de nitraat-uitspoeling tegen de N-bemesting vrijwel lineair (tabel 5.1.9). Dit betekent, dat vastlegging in de humus of de denitrificatie een sterkere rol gaan spelen naarmate de drijfmestgiften hoger zijn.

In tabel 5.1.9 is eveneens de uitspoeling voor grasland op zand gegeven. Op grasland kan in najaar en winter, in perioden dat mineralisatie optreedt, opname plaatsvinden in het gewas. Voor grasland is de N-uitspoeling dan ook lager dan voor bouwland, ook bij overeenkomstige grondwatervoeding.

Voor fosfaat geldt, dat landelijk gezien de invloed van de landbouw op de fosfaatbelasting via uitspoeling te verwaarlozen is. In grote concentratiegebieden van bio-industrie is het mogelijk dat er door jarenlange overbemesting van met name organische fosfaten het bodemcomplex verzadigd raakt en er fosfaten uitspoelen.

In gebieden met een slechte ontwatering kan afspoeling van meststoffen wel een belangrijke rol spelen.

Tabel 5.1.9. Toevoer van stikstof ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{jr}^{-1}\text{N}$) voor bouw- en grasland op zand in het jaar van onderzoek en de NO_3^- -uitspoeling ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{jr}^{-1}\text{N}$ en % van de toevoer) (Steenvoorden, 1981).

Stalmest kg N	Kunstmest kg N	Grondwater- voeding	Uitspoeling	
			kg N	%
<i>Bouwland</i>				
475	0	237	128	27
710	0	273	205	29
960	0	273	218	23
1.210	0	273	309	26
1.460	0	273	392	27
<i>Grasland</i>				
125	180	100	10	3
115	265	100	18	5
205	350	100	29	5
150	460	100	24	4

5.1.12. Waterzuivering

Bij de verontreiniging van water zijn naast de eigenschappen van de stoffen ook micro-organismen, warmte en straling en de omstandigheden waaronder de waterverontreiniging plaatsvindt, van belang. Onder dit laatste vallen bijvoorbeeld de methode en concentraties van lozingen, evenals de functie, de grootte en het karakter van het ontvangende water. De drie hoofdmotieven om waterverontreiniging te bestrijden zijn:

- zorg voor de volksgezondheid;
- bescherming van ecosystemen;
- bescherming van materiële belangen in de menselijke samenleving.

Het vermogen van de in het water voorkomende micro-organismen om met behulp van zuurstof organische stoffen af te breken en als voedsel te gebruiken, wordt het *zelfreinigend vermogen* van een water genoemd. Zware metalen kunnen bij hoge concentraties de zelfreinigende werking verhinderen. Zie hiervoor tabel 5.1.10.

Tabel 5.1.10. Grenswaarden van metalen voor het zelfreinigend vermogen van water (Liebman, 1960).

Metaal	Grenswaarde voor het zelf- reinigend vermogen in $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$
zink	0,1
koper	0,01
chroom	0,3
nikkel	0,1
lood	0,1
cadmium	0,1
kwik	0,018

Een gedeelte van de stoffen die via bedrijfs- en huishoudelijk afvalwater en afstromend regenwater worden geloosd, worden in zuiveringsinrichtingen geëlimineerd. In tabel 5.1.11 is de belasting van de Nederlandse oppervlaktewateren met enkele zware metalen gegeven.

Tabel 5.1.11. Belasting van het Nederlandse oppervlaktewater met enkele zware metalen in tonnen per jaar (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1986).

	Industrie			Diffuse bronnen situatie 1985	Grote rivieren	
	1980	1985	1990 prognose		1978*	1983
kwik	0,6	0,3	0,3	0,2	20	11
cadmium	18	18	5	2,4	200	63
chromium	107	85	31	3,4	2.600	1.210
koper	48	22	17	73	1.300	910
lood	107	24	20	378	1.800	860
nikkel	47	26	21	12	1.000	520
zink	604	144	98	290	10.000	5.900

* Alleen Rijn en Maas

Ter vergelijking zijn de jaarvrachten van deze stoffen die door de Rijn en de Maas in 1978 en 1985 zijn aangevoerd eveneens vermeld. In tabel 5.1.12 is een overzicht gegeven van de produktie, de zuivering en de belasting van het oppervlaktewater met zuurstofbindende stoffen. De getallen geven miljoenen inwoner-equivalenten.

Eén *inwoner-equivalent* (i.e.) is een maat voor de vervuilingswaarde die gelijk is aan de hoeveelheid afvalstoffen die één inwoner geacht wordt per etmaal te lozen. Het komt overeen met een biochemisch O₂-verbruik van 54 g · d⁻¹.

Tabel 5.1.12. Belasting van het Nederlandse oppervlaktewater met zuurstofbindende stoffen (× 10⁶ i.e.) (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1986).

	1969	1975	1980	1985	1990 prognose
huishoudens	12,5	13,3	14,3	14,5	14,8
bedrijven	33,0	19,7	13,7	11,3	8,8
totaal	45,5	33,0	28,0	25,8	23,6
geëlimineerd in openbare zuiveringsinrichtingen	5,5	8,7	12,6	14,5	17,4
belasting Nederlands oppervlaktewater	40,0	24,3	15,4	11,3	6,2

De vervuiling die veroorzaakt wordt door de landbouwhuisdieren kan met behulp van tabel 5.1.13. omgerekend worden tot inwoner-equivalenten.

Tabel 5.1.13. Vervuiling door landbouwhuisdieren, uitgedrukt in inwoner-equivalenten.

1 koe, volledige lozing	10	i.e.
1 koe, uitsluitend gier	3	i.e.
1 kalf, geit of schaap	1	i.e.
1 varken, volledige lozing	2	i.e.
1 varken, uitsluitend gier	1	i.e.
1 stuks pluimvee	0,1	i.e.
1 pelsdier	0,1	i.e.

5.1.13. Verzilting

De samenstelling van het zeewater varieert per plaats en in de tijd. In tabel 5.1.14 is de gemiddelde verhouding van de in de Noordzee meest voorkomende zouten gegeven.

Tabel 5.1.14. Gemiddelde verhouding van een aantal in de Noordzee voorkomende zouten.

Keukenzout	(NaCl)	-	77,7 %
Magnesiumchloride	(MgCl ₂)	-	10,8 %
Magnesiumsulfaat	(MgSO ₄)	-	4,7 %
Calciumsulfaat	(CaSO ₄)	-	3,6 %
Kaliumsulfaat	(K ₂ SO ₄)	-	2,6 %
Koolzure kalk	(CaCO ₃)	-	0,3 %
Magnesiumbromide	(MgBr ₂)	-	0,2 %
Overige zouten	-	-	0,1 %

Meestal wordt het chloridegehalte gebruikt als maat voor het zoutgehalte. In de Noordzee bedraagt het chloridegehalte $\pm 18.000 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$.

Zoet water bevat $0 - 300 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1} \text{Cl}^-$.

Brak water bevat $300 - 5.000 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1} \text{Cl}^-$.

Zout water bevat $> 5.000 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1} \text{Cl}^-$.

De jaarlijkse zoutbelasting van Nederland bedraagt globaal voor:

- zeesluizen	14	mln	ton	chloride
- Rijn	11	mln	ton	chloride
- kwel	3,0	mln	ton	chloride
- Maas	0,79	mln	ton	chloride

- gladheidsbestrijding	0,18 mln ton chloride
- agrarisch afval	0,12 mln ton chloride
- neerslag	0,12 mln ton chloride
- huishoudelijk afval	0,10 mln ton chloride

De verzilting via de riviermondingen is aanzienlijk, maar moeilijk kwantificeerbaar. De belangrijkste verziltingsbronnen voor de landbouw zijn de Rijn en de zoute kwel.

5.1.14. De Rijn

In tabel 5.1.15 staat de gemiddelde jaarlijkse wateraanvoer in Nederland. Gezien het aandeel van de Rijn is de kwaliteit ervan van groot belang.

Tabel 5.1.15. Gemiddelde jaarlijkse wateraanvoer in Nederland.

	mm · jr ⁻¹	miljard m ³ · jr ⁻¹
Rijn (Lobith)	1.725	69
neerslag	750	30
Maas (Borgharen)	200	8
kleine rivieren	75	3
	2.750	110

Voor peilbeheersing en watervoorziening ten behoeve van de landbouw is men in een zomerhalfjaar voor meer dan 80% aangewezen op Rijnwater. Over het algemeen is de kwaliteit van het Rijnwater in de loop van deze eeuw steeds verder verslechterd. Hiervan is in tabel 5.1.16 een overzicht gegeven. De laatste jaren is de kwaliteit ten aanzien van de meeste parameters weer aan het verbeteren.

Tabel 5.1.16. Verandering van de kwaliteit van het Rijnwater (mg · l⁻¹).

	1870	1930	1980
Chloride	12	60	164
Sulfaat	35	42	72
Bicarbonaat	160	161	159
Calcium	50	63	80
Magnesium	10	10	11
Natrium	5	26	87
Kalium	5	5 à 10	6
Ammonium (N)	0	0,2	0,8
Nitraat (N)	0,2 à 0,5	0,7	3,9

5.2. Indeling van het water

5.2.1. Biologische watertypering

Algemeen

In het aquatisch systeem komen verschillende groepen van organismen voor:

- bacteriën;
- fytoplankton (plantaardige, in het water levende micro-organismen, waaronder algen);
- zoöplankton (dierlijke micro-organismen);
- macrofauna (met het blote oog waarneembare waterdieren);
- macrofyten (hogere waterplanten, mossen, varens, kranswieren).

Hydrobiologisch onderzoek heeft als voordeel dat een monster een beeld geeft van het watersysteem als geheel en van de toestand over een langere tijd (met name de macrofauna en de macrofyten). Nadelen zijn de tijdrovende bemonstering en analyses, de moeilijkheid om de resultaten in cijfers weer te geven en de geringe geschiktheid om vervuiliingsbronnen te lokaliseren.

Indeling van wateren

Chloridegehalte

De indeling van wateren naar chloridegehalte staat vermeld in tabel 5.2.1.

Tabel 5.2.1. Indeling van wateren naar het chloridegehalte (Redeke, 1975).

Type	Cl ⁻ (mg · l ⁻¹)	Enkele kenmerkende soorten
zoet water	< 100	krabbescheer, driehoeksmossel, voorns
oligohalien	100 - 1.000	aasgarnalen, driehoeksmossels
mesohalien	1.000 - 10.000	brakwatergarnalen, brakwaterpoliep, brakwatergondel, darmwier
polyhalien	> 10.000	vorksprietgarnaal, brakwatergarnaal, bot

Voedselrijkdom (trofie)

De minerale voedselrijkdom van het water is bepalend voor de primaire produktie van organisch materiaal. Zowel fosfaat als stikstof kunnen onder Nederlandse omstandigheden de beperkende factor zijn voor de groei en geven daarom een goede indicatie van de voedselrijkdom. De indeling voor diepe, zoete meren staat in tabel 5.2.2.

Tabel 5.2.2. Indeling voor diepe, zoete meren in trofiegraden (Vollenweider, 1968).

Trofie	Totaal fosfaat (mg P·l ⁻¹)	Anorganisch stikstof (mg N·l ⁻¹)
ultra-oligotroof	< 0,005	< 0,20
oligo-mesotroof	0,005 - 0,01	0,20 - 0,40
meso-eutroof	0,01 - 0,03	0,30 - 0,65
eu-polytroof	0,03 - 0,10	0,50 - 1,5
polytroof	> 0,10	> 1,5

Verontreiniging (saprobie)

Organische verontreiniging gaat gepaard met bacteriële afbraak. Voor de biologische zelfreiniging is zuurstof nodig. Het saprobie-systeem geeft een indeling van de mate van organische verontreiniging. Deze indeling staat in tabel 5.2.3.

Tabel 5.2.3. Saprobiesysteem.

Mate van organische belasting	Zuurstofbalans	Aantal bacteriën per ml	Kenmerkende organismen
weinig (oligosaproob)	altijd O ₂ aanwezig, geen duidelijk dag/nachtritme	<1.000	helder water met fyto- en zoö-plankton, insektenlarven, div. vissoorten
matig (β-meso-saproob)	altijd veel O ₂ aanwezig, dag/nachtritme	10 ³ -10 ⁵	veel fyto en zoöplankton, veel hogere planten, slakken, mossels, div. vissoorten
sterk (α-meso-saproob)	schommelend O ₂	>10 ⁵	minder soorten, veel individuen, tubifex, rode muggelarven, blauwwieren, oerdiertjes, geen hogere planten
zeer sterk (polysaproob)	geen O ₂	>10 ⁶	bacteriën, schimmels, enkele protoza, geen vissen, kreeften en slakken

Verder kunnen onder andere de *stroomsnelheid* en de *biologische samenstelling* criteria zijn om water in typen te onderscheiden.

5.2.2. Chemische watertypering

Algemeen

Voor het bepalen van de waterkwaliteit in strikte zin zijn biologische methoden minder geschikt. Met name geldt dit voor het vaststellen van de waterkwaliteit in verband met op de mens gerichte functies. Hiervoor is het nodig de waarden van de afzonderlijke fysische- en chemische parameters rechtstreeks te bepalen. De resultaten geven directe

informatie en zijn relatief snel beschikbaar. Een nadeel is, dat ieder monster een moment-opname is van een deelaspect van het watersysteem. De resultaten van de analyses zijn als exacte cijfers weer te geven, wat de verwerking ervan vereenvoudigt.

Bij de chemische watertypering wordt meestal gebruik gemaakt van de hoeveelheid en de verdeling van de macro-elementen: Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{2-} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ en Ca^{2+} . Hiervan komen er enige tot duizenden milligrammen per liter water voor. De gehalten van de micro-elementen stikstof en fosfaat zijn veel geringer. Van de micro-elementen is bij de biologische watertypering een indeling in trofiegraden gegeven.

Diagrammen

Ionendiagram volgens Stiff (Hem, 1959)

Van een watermonster worden de concentraties van de drie anionen (HCO_3^- , SO_4^{2-} en Cl^-) en van de vier kationen (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ en Na^+) omgerekend in $\text{meq} \cdot \text{l}^{-1}$. Vervolgens wordt de concentratie van een bepaalde ion omgerekend tot een percentage van de totale concentratie van de voornoemde anionen en kationen. Deze verhoudingen zijn in een figuur weer te geven, waarbij links de percentages kationen en rechts de percentages anionen uitgezet worden. Onder de figuur kan een balk worden getekend waarvan de lengte een maat is voor de totale concentratie anionen en kationen. Normaliter is de som van de anionen ongeveer gelijk aan de som van de kationen.

Voorbeeld:

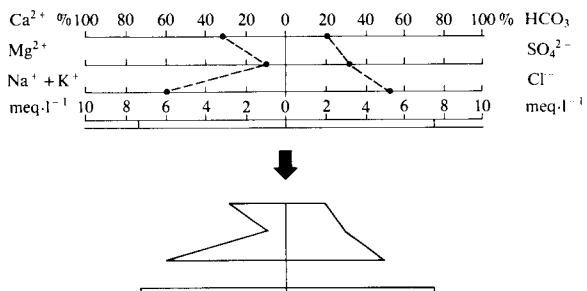
Een watermonster bevat aan:

kationen: Ca^{2+} : $45,1 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1} = 2,25 \text{ meq} \cdot \text{l}^{-1} = 30\%$
 Mg^{2+} : $9,1 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1} = 0,75 \text{ meq} \cdot \text{l}^{-1} = 10\%$
 Na^+ : $92,0 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1} = 4,00 \text{ meq} \cdot \text{l}^{-1}$
 K^+ : $19,6 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1} = 0,50 \text{ meq} \cdot \text{l}^{-1}$ } = 60%
 $\underline{7,50 \text{ meq} \cdot \text{l}^{-1}}$

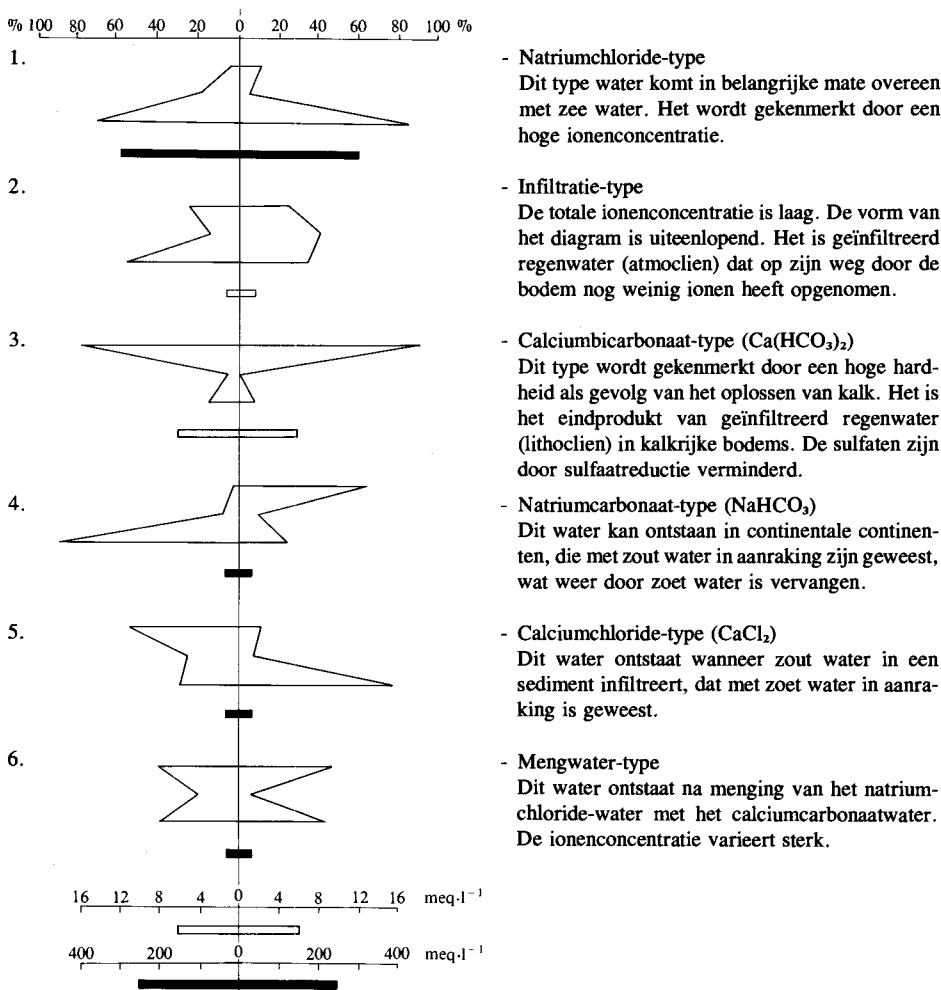
anionen: HCO_3^- : $91,5 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1} = 1,50 \text{ meq} \cdot \text{l}^{-1} = 20\%$
 SO_4^{2-} : $108,1 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1} = 2,25 \text{ meq} \cdot \text{l}^{-1} = 30\%$
 Cl^- : $133,1 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1} = 3,75 \text{ meq} \cdot \text{l}^{-1} = 50\%$
 $\underline{7,50 \text{ meq} \cdot \text{l}^{-1}}$

Dit voorbeeld is grafisch weergegeven in figuur 5.2.1.

Figuur 5.2.1. Stiff-diagram.



Aan de hand van de vorm van het diagram en de lengte van de balk kan het water in verschillende typen worden ingedeeld. In figuur 5.2.2 staan de meest voorkomende typen grondwater als diagram afgebeeld.



Figuur 5.2.2. Veel voorkomende grondwatertypen afgebeeld als ionendiagram volgens Stiff.

Piperdiagram

Piperdiagrammen geven in principe dezelfde informatie als ionen (Stiff-)diagrammen en berusten eveneens op de weergave van de aandelen van de verschillende anionen en kati-

onen. De aandelen van de verschillende anionen en kationen worden als een punt weergegeven, waardoor meerdere monsters in een figuur weergegeven kunnen worden.

Er kan in een piperdiagram onderscheid gemaakt worden in primair en secundair en in alkalien en salien water:

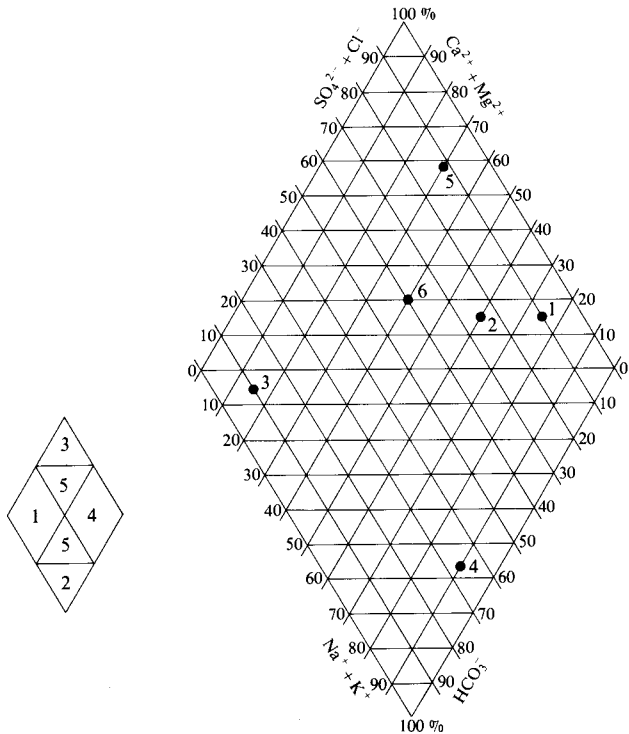
- primair water: aandeel Na + K > aandeel Ca + Mg (in meq)
- secundair water: aandeel Na + Mg > aandeel Na + K (in meq)
- alkalien water: aandeel HCO₃ > aandeel SO₄ + Cl (in meq)
- salien water: aandeel SO₄ + Cl > aandeel HCO₃ (in meq)

De volgende grondwatertypen kunnen worden onderscheiden:

- a. secundair alkalien (Ca(HCO₃)₂)
- b. primair alkalien (Na/K(HCO₃))
- c. secundair salien (CaSO₄/Cl)
- d. primair salien (Na/K,SO₄/Cl)
- e. geen der ionen domineert.

In het piperdiagram zijn als voorbeeld de zes typen water die hiervoor als ionendiagram weergegeven zijn, ingetekend in figuur 5.2.3.

Figuur 5.2.3. Piperdiagram



5.2.3. Klasse-indeling

In principe kan voor de beoordeling van water voor iedere parameter een klasse-indeling worden gemaakt. Om een gespreide verdeling van resultaten over de verschillende klassen te krijgen, kan vooraf een frequentie-analyse worden uitgevoerd. Er zijn weinig algemeen toepasbare indelingen omdat de samenstelling van het water plaatselijk sterk kan afwijken. Om de zuurstofhuishouding van het oppervlaktewater te kunnen kwantificeren, kan gebruik worden gemaakt van de indeling zoals die in het Indicatief Meerjaren Programma voor de bestrijding van de verontreiniging van het oppervlaktewater is gehanteerd (*Ministerie van Verkeer en Waterstaat*, 1981). Daarin worden drie parameters gebruikt om de zuurstofhuishouding te kunnen beschrijven. Dit zijn:

- het zuurstofverzadigingspercentage,
- het biochemisch zuurstofverbruik en
- het gehalte aan ammoniumstikstof.

De methode is als volgt:

Per bemonsteringspunt worden alle afzonderlijke meetresultaten gewaardeerd volgens onderstaande indeling. Daarna worden de puntenwaarderingen opgeteld en gedeeld door het aantal bemonsteringen. Het puntengemiddelde ligt dan tussen 3 en 15.

Tabel 5.2.4. Indeling van een drietal waterkwaliteit parameters.

Punten	O ₂ verzadiging %	BZV (mg · l ⁻¹ O ₂)	NH ₄ ⁺ - N (mg · l ⁻¹)
1	91 - 110	≤ 3	< 0,5
2	71 - 90	3,1 - 6,0	0,5 - 1,0
	110 - 120		
3	51 - 70	6,1 - 9,0	1,1 - 2,0
	121 - 130		
4	31 - 50	9,1 - 15,0	2,1 - 5,0
5	≤ 30 en > 130	> 15,0	> 5,0

Voorbeeld:

	1e bemonstering	2e bemonstering	waardering	
O ₂ verz. %	75	95	2	1
BZV (mg · l ⁻¹ O ₂)	7,0	4,0	3	2
NH ₄ ⁺ - N (mg · l ⁻¹)	1,5	0,7	3	2
Totaal			13:2 = 6,5	

De puntenwaardering kan op een visueel aantrekkelijke wijze worden weergegeven via de in tabel 5.2.5. gegeven kleurcodering. Voor fosfaat bestaat een aparte klasse-indeling. Deze staat in tabel 5.2.6.

Tabel 5.2.5. Kleurcodering voor het aangeven van de waterkwaliteit.

Klasse	Kleurcode	Puntengemiddelde voor 3 parameters	Puntengemiddelde voor 1 parameter
1	blauw	3,0 - 4,5	1,0 - 1,5
2	groen	4,6 - 7,5	1,6 - 2,5
3	geel	7,6 - 10,5	2,6 - 3,5
4	oranje	10,6 - 13,5	3,6 - 4,5
5	rood	13,6 - 15,0	4,6 - 5,0

Tabel 5.2.6. Klasse-indeling voor fosfaat.

Klasse	Kleurcode	Totaal fosfaat (mg · l ⁻¹) (gemiddelde april t/m september)
1	blauw	≤ 0,10
2	groen	0,11 - 0,20
3	geel	0,21 - 0,30
4	oranje	0,30 - 0,74
5	rood	≥ 0,75

Belastingsindex (Bots e.a., 1978)

De belastingsindex is ingevoerd om naast de zuurstofhuishouding eveneens de voedselrijkdom van het oppervlaktewater in een getal uit te kunnen drukken. Per monsterpunt worden aan vijf parameters een aantal punten toegekend (zie tabel 5.2.7). De som van deze punten geeft een getal, de belastingsindex. Minimaal zijn er 5 en maximaal 50 punten te behalen.

Tabel 5.2.7. Indeling van een vijftal waterkwaliteitsparameters voor het bepalen van de belastingsindex.

Punten	NH ₄ -N (mg · l ⁻¹)	Org-N (mg · l ⁻¹)	Ortho-P (mg · l ⁻¹)	Totaal-P (mg · l ⁻¹)	Zuurstofverzadiging (%)	
1	0,0 - 0,20	0,0 - 0,50	0,0 - 0,01	0,0 - 0,05	91 - 109	
2	0,20 - 0,40	0,50 - 0,75	0,01 - 0,03	0,05 - 0,10	81 - 90	110 - 119
3	0,40 - 0,60	0,75 - 1,00	0,03 - 0,07	0,10 - 0,15	71 - 80	120 - 129
4	0,60 - 0,80	1,0 - 1,5	0,07 - 0,11	0,15 - 0,20	61 - 70	130 - 139
5	0,80 - 1,00	1,5 - 2,0	0,11 - 0,15	0,20 - 0,30	51 - 60	140 - 149
6	1,00 - 1,25	2,0 - 2,5	0,15 - 0,20	0,30 - 0,40	41 - 50	150 - 159
7	1,25 - 1,50	2,5 - 3,0	0,20 - 0,30	0,40 - 0,50	31 - 40	160 - 169
8	1,50 - 2,00	3,0 - 4,0	0,30 - 0,40	0,50 - 0,75	21 - 30	170 - 179
9	2,00 - 2,50	4,0 - 5,0	0,40 - 0,50	0,75 - 1,0	11 - 20	180 - 189
10	≥ 2,50	≥ 5,0	≥ 0,50	≥ 1,0	0 - 10	≥ 190

5.3. Waterkwaliteitsnormen

5.3.1. Algemeen

Een *waterkwaliteitsnorm* is een grenswaarde die ook voor een bepaalde kwaliteitsparameter niet of slechts incidenteel mag worden overschreden. Bij overschrijding van een *grenswaarde* zullen bepaalde effecten met een zekere kans optreden.

Een *streefwaarde* is een norm voor de lange termijn en heeft een permanent karakter. Grootte en frequentie van toe te laten overschrijdingen van een norm zijn afhankelijk van hygiënische, technische, economische, sociale en ecologische doelstellingen. Het stellen van normen is niet eenvoudig door de vele interacties en relaties die er tussen de verschillende verbindingen en organismen bestaan.

Waterkwaliteitsnormen zijn dan ook minder absoluut dan het woord norm doet veronderstellen.

5.3.2. Basiskwaliteit voor oppervlaktewater

In het Indicatief Meerjaren Programma Water is het begrip basiskwaliteit ingevoerd. Het geeft een minimum aan in het geheel van waterkwaliteitsdoelstellingen. Water dat aan de basiskwaliteitsnormen voldoet, veroorzaakt geen overlast voor de omgeving, ziet er niet vervuild uit en biedt goede levenskansen voor levensgemeenschappen. Deze kwaliteit zou op korte termijn voor alle zoete Nederlandse oppervlaktewateren bereikt moeten worden.

In tabel 5.3.1 staat een beknopt overzicht van de normen met betrekking tot de basiskwaliteit. Hierbij is onderscheid gemaakt in drie groepen:

- groep 1 : algemene parameters;
- groep 2 : stoffen waarvan het voorkomen behalve door verontreiniging ook kan worden bepaald door natuurlijke omstandigheden;
- groep 3 : stoffen waarvan het voorkomen voornamelijk of geheel wordt bepaald door verontreiniging.

Tabel 5.3.1. Waterkwaliteitsnormen voor zoet oppervlaktewater in Nederland
(Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1986).

Groep 1	
- kleur, geur, schuim, vast afval, troebeling etc.	het water dient niet zichtbaar of ruikbaar verontreinigd te zijn
- zuurgraad	$6,5 \leq \text{pH} \leq 9,0$
- temperatuur	$\leq 25^\circ\text{C}$
- zuurstof	$\geq 5 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$
- doorzicht (gemiddelde getalswaarde voor eutrofiërings-gevoelige wateren, april t/m september)	$\geq 0,5 \text{ m}$
- algenbiomasse (gemiddelde getalswaarde april t/m september)	$\leq 100 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ (als chlorofyl-a)
- totaal-fosfaat (gemiddelde getalswaarde voor eutrofiëringsgevoelige wateren, april t/m september)	$\leq 0,15 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ (als P)
- ammoniak	$\leq 20 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ (als N)
Groep 2	
- chloride	$\leq 200 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$
- sulfaat	$\leq 100 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ (als SO_4)
- nitraat + nitriet	$\leq 10 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ (als N)
Groep 3, zware metalen	
- cadmium (totaal)	$\leq 2,5 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$
- kwik (totaal)	$\leq 0,5 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$
- koper (totaal)	$\leq 50 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$
- lood (totaal)	$\leq 50 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$
- zink (totaal)	$\leq 200 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$
- chroom (totaal)	$\leq 50 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$
- nikkel (totaal)	$\leq 50 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$
- arseen (totaal)	$\leq 50 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$
Groep 3, organische microverontreinigingen	
- monocyclische aromatische koolwaterstoffen	mediaan som $\leq 2 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ mediaan afzonderlijke stoffen $\leq 1 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$
- polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK's)	mediaan som $\leq 100 \text{ ng} \cdot \text{l}^{-1}$
- organochloor-pesticiden	mediaan som $\leq 20 \text{ ng} \cdot \text{l}^{-1}$ mediaan afzonderlijke stoffen $\leq 10 \text{ ng} \cdot \text{l}^{-1}$
- gechloreerde bifenylen (PCB's)	mediaan som $\leq 7 \text{ ng} \cdot \text{l}^{-1}$
- gechloreerde aromatische amines	mediaan som $\leq 1 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ mediaan afzonderlijke stoffen $\leq 0,5 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$
- gechloreerde fenolen	mediaan afzonderlijke stoffen $\leq 50 \text{ ng} \cdot \text{l}^{-1}$
- thermotolerante bacteriën van de coli-groep	mediaan MPN ≤ 20 per ml
- totaal α -activiteit (gemiddelde norm)	$\leq 0,1 \text{ Bq} \cdot \text{l}^{-1}$ ($2,7 \text{ pCi} \cdot \text{l}^{-1}$)
- rest β -activiteit (gemiddelde norm)	$\leq 1 \text{ Bq} \cdot \text{l}^{-1}$ ($27 \text{ pCi} \cdot \text{l}^{-1}$)
- tritium-activiteit (gemiddelde norm)	$\leq 200 \text{ Bq} \cdot \text{l}^{-1}$ ($5400 \text{ pCi} \cdot \text{l}^{-1}$)

Tabel 5.3.2. De gehalten aan ($\text{NH}_4^+ + \text{NH}_3$) in $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ N die overeenkomen met een gehalte van $0,02 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ N vrij ammoniak in water in afhankelijkheid van de pH en de temperatuur.

°C	pH	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5
5		50,0	16,7	5,1	1,6	0,53	0,18	0,07
10		33,3	10,5	3,4	1,1	0,36	0,13	0,05
15		22,2	7,4	2,4	0,75	0,25	0,09	0,04
20		15,4	5,0	1,6	0,52	0,18	0,07	0,03
25		11,1	3,6	1,2	0,38	0,13	0,06	0,03

5.3.3 Waterkwaliteitsnormen voor de akker- en tuinbouw

In Nederland is de neerslag de belangrijkste waterbron voor landbouwgewassen. Een eventuele ophoping van zout in de zomerperiode wordt in de daaropvolgende winter weer uitgespoeld. Bij kunstmatige watervoorziening moet worden gezorgd, dat er geen ophoping van zouten in het profiel plaatsvindt. Hiervoor worden door de EG de in tabel 5.3.3 vermelde grenzen voor het totale zout- en het chloridegehalte voor het irrigatiewater aangehouden, waarbij de grootte van de jaarlijkse watergift op een optimale vochtvoorziening voor het gewas is gebaseerd.

Tabel 5.3.3. Grenswaarden voor het totale zoutgehalte en het chloridegehalte in milligrammen per liter van irrigatiewater in afhankelijkheid van de jaarlijkse watergift en de gevoeligheid van het gewas.

Gevoeligheid van het gewas	Kasteelt		Vollegrondslandbouw			
	600-1.000 mm		humide 100-300 mm		semi-aride en aride 300-1.000 mm	
	tot. zout	chloride	tot. zout	chloride	tot. zout	chloride
erg gevoelig	160	40	500	200	250	100
gevoelig	400	100	1.250	400	750	200
vrij tolerant	800	200	2.000	700	1.000	350

Van enkele andere elementen zijn grenswaarden voor irrigatiewater afgeleid uit verschillende onderzoeksresultaten. Deze staan in tabel 5.3.4. vermeld en gelden voor gevoelige (dichte) gronden.

Tabel 5.3.4. Grenswaarden voor enkele elementen voor irrigatiewater.

Element	Grenswaarde (mg · l ⁻¹)	Giftig of schadelijk voor	Opmerkingen
arseen	0,1	planten, dieren	vernietiging van chlorofiel, accumulatie in de bodem
bromide	4,0	mensen	accumulatie in planten
cadmium	0,01	mensen	accumulatie in bodem en planten
chroom	1,0	planten, mensen	6-waardig chroom 0,1 mg · l ⁻¹
koper	0,2	planten	vooral in zure grond gevaarlijk
fluoride	1,0	planten, mensen	sierbloemen
ijzer	2,0	planten, materiaal	
lood	5,0	planten	
mangaan	0,5	planten	in zure gronden 0,2 mg · l ⁻¹
molybdeen	0,01	dieren	
nikkel	0,2	planten	vooral in zure grond gevaarlijk
seleen	0,02	mensen	menselijke consumptie max. 0,2 mg · d ⁻¹
zink	2,0	planten	de grenswaarde is kleiner bij aanwezigheid van Cu of Ni

De verschillende gewassen zijn niet even gevoelig voor verontreinigingen. Hierover is nog niet veel bekend. Voor het chloridegehalte van het oppervlaktewater bij gebruik voor verschillende vormen van bodemgebruik zijn de globale waarden gevonden die in tabel 5.3.5 vermeld staan.

Tabel 5.3.5. Maximaal toelaatbare chlorideconcentraties van het oppervlaktewater voor enkele verschillende vormen van bodemgebruik.

Bodemgebruik/culture	Toelaatbare concentratie (mg · l ⁻¹ Cl ⁻)
grasland	600
bouwland (algemeen)	600
aardappelen/bieten	600
pit- en steenvruchten	300
boomkwekerijgewassen	300
vollegrondstuinbouw	300
bloembolgewassen	300
glastuinbouw	200
substraatteelt	50

5.3.4. Drinkwaternormen voor vee

Enkele richtlijnen voor de kwaliteit van het drinkwater van vee staan vermeld in tabel 5.3.6. Deze richtlijnen zijn ten behoeve van de EG opgesteld maar zijn niet wettelijk vastgesteld. De grenswaarden zijn vastgesteld voor afzonderlijke elementen. Voor combinaties van elementen zijn geen grenswaarden opgegeven.

Tabel 5.3.6. Enkele drinkwaternormen voor vee.

Element	Grenswaarde (mg · l ⁻¹)	Element	Grenswaarde (mg · l ⁻¹)
arseen	0,1	kwik	0,002
cadmium	0,01	molybdeen	0,1
chrom (6-waardig)	0,05	nitraat (N)	45
koper	0,2	nitriet (N)	1,5
fluoride	2,0	seleen	0,02
lood	0,1	faecale coli bact.	10 per ml

Verder is voor Nederlandse omstandigheden voor calcium een globale grenswaarde van 1.000, voor magnesium van 500, voor natrium van 2.000 en voor ijzer van 0,2 - 5,0 mg · l⁻¹ gevonden.

De verschillende diersoorten stellen voor een bepaalde verontreiniging andere eisen. Voor het totale zoutgehalte zijn de waarden gevonden die in tabel 5.3.7 vermeld staan.

Tabel 5.3.7. Grenswaarde voor het totale zoutgehalte van het drinkwater van een aantal diersoorten.

Diersoort	Totaal zoutgehalte (g · l ⁻¹)
kip	3,0
varken	4,0
paard	6,5
melkvee	7,0
fokvee	10,0
schaap	12,0

5.3.5. Normen voor zwemwater

Aan de hand van een beperkt aantal parameters kan de zwemwaterkwaliteit worden beoordeeld. Deze parameters staan in het beknopte schema van tabel 5.3.8. vermeld.

Tabel 5.3.8. Normen voor zwemwater (*Gezondheidsraad*, 1973).

	Parameter	Klasse	Norm
Algemeen	doorzicht	1	> 1 m of tot bodem
		2	1,0 - 0,5 m
		3	< 0,5 m
	kleur, geur, smaak, drijvende stoffen	1	niet of nauwelijks waarneembaar
		2	hooguit door natuurlijke omstandigheden
		3	duidelijk waarneembaar (door verontreiniging)
chemisch	zuurstof-verzadigings-percentage	1	75-125
		2	50-75 of 125-150
		3	< 50 of > 150
	biologisch zuurstof-verbruik	1	< 5 mg · l ⁻¹ (O ₂)
		2	5-10 mg · l ⁻¹ (O ₂)
		3	> 10 mg · l ⁻¹ (O ₂)
	pH	1 en 2	4-9 (natuurlijke oorzaak)
		3	< 4 en > 9
bacteriologisch	coli-bacteriën	1	1 faecale coli-bact per ml
		2	1-10 faecale coli-bact. per ml
		3	> 10 faecale coli-bact. per ml

In tabel 5.3.8. is een indeling gemaakt in drie kwaliteitsklassen:

klasse 1: geschikt;

klasse 2: matig geschikt, verbetering gewenst;

klasse 3: ongeschikt, verbetering dringend gewenst.

54. Literatuur

America Public Health Association, 1960.

Standards methods for the examination of water and waste water. New York.

Biamond, C., e.a., 1975.

Handboek voor milieubeheer. Vermande Zonen, IJmuiden.

Bots, W.P.C.M., P.C. Jansen, G.J. Noordewier, 1978.

Fysisch-chemische samenstelling van oppervlakte- en grondwater in het noorden des lands.

Regionale studies 13. Instit. voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Wageningen.

Gezondheidsraad, 1973.

Interimrapport inzake de eisen welke, met het oog op de gezondheid van de mens, aan het oppervlakte-water dienen te worden gesteld. Rijswijk.

Hem, J.D., 1959.

Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water. U.S. Geol. Survey Water supply, Paper 1473.

- Imhoff, K., 1966.
Taschenbuch der Stadtentwässerung. Verlag von Oldenbourg, München/Wien.
- Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut, 1980.
Meetnet voor de bepaling van de chemische samenstelling van de neerslag in Nederland.
Jaaroverzicht 1980, K.N.M.I., De Bilt.
- Kolenbrander, G.J., 1972.
Eutrophication from agriculture with special reference to fertilizers and animal waste. Soils Bulletin 16. FAO, Rome.
- Liebman, H., 1960.
Handbuch der Frischwasser und Abwasser biologie II, München.
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1977.
Wet verontreiniging oppervlaktewateren, Verreemde Zonen, IJmuiden.
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1981.
Indicatief Meerjaren Programma Water 1980-1984. Staatsuitgeverij, 's-Gravenhage.
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1986.
De waterkwaliteit van Nederland. Indicatief Meerjaren Programma Water 1985-1989 (1985) Staatsdrukkerij, 's-Gravenhage.
- Redeke, H.C., 1975.
Hydrobiologie van Nederland. Backhuys en Meesters, Amsterdam.
- Rijtema, P.E. en C.G. Toussaint, 1982.
Een globale raming van de fosfaatbelasting uit het landelijk gebied. Nota 1322. Instit. voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Wageningen.
- Sladeczek, 1973.
System of water quality from the biological point of view. Archiv für Hydrobiologie. Beiheft 7.
- Steenvoorden, J.H.A.M., 1981.
De gevolgen van het landbouwkundig bodemgebruik voor de chemische samenstelling van het grond- en oppervlaktewater. Nota 1264, Instit. voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Wageningen.
- Vollenweider, R.A., 1968.
Scientific fundamentals of the eutrophication of lakes and flowing waters. OECD, Bibliography, Paris.

Deel IV

LAND- INRICHTING

	Blz.
1. Landinrichting en Ruimtelijke Ordening	649
2. Openluchtrecreatie	674
3. Natuurtechniek	682
4. Informatie ten behoeve van landinrichtingsplannen	716
5. Evaluatie van landinrichtingsprojecten	723

1. Landinrichting en Ruimtelijke Ordening

1.1. Begripsomschrijvingen

1.1.1. Bestemming, inrichting en beheer

Bestemming geeft aan voor welke doeleinden en onder welke voorschriften gronden mogen worden gebruikt.

Inrichting is de uitvoering van activiteiten en werken, die een gegeven bestemming realiseren of optimaliseren.

Beheer is het instand houden van het bestemde en ingerichte gebied door gerichte maatregelen.

1.1.2. Landinrichting

Van het begrip landinrichting zijn enkele omschrijvingen in omloop. Het begrip wordt in twee betekenissen gebruikt, namelijk als een bestaande toestand en als een activiteit. In de eerste betekenis wordt onder landinrichting verstaan de bestaande indeling van het landelijk gebied in ruimtelijke eenheden. Het gaat dan om de aangetroffen indeling in gebruikseenheden met hun locatie, omvang en vorm (landbouwpercelen, patroon van plattelandswegen, slotenpatroon, natuurterreinen, nederzettingen, enz.). Het betreft ook het beslag op de ruimte door maatschappelijke activiteiten die in het landelijk gebied plaatsvinden (landbouw, wonen, recreatie, verkeer, enz.).

In de tweede betekenis wordt onder landinrichting verstaan het verbeteren van de inrichting van het landelijk gebied. Het gaat dan om het ontwerpen van een gebiedsindeling en het verrichten van alle handelingen die nodig zijn om die indeling te realiseren. Aan die tweede betekenis wordt in deze paragraaf nader aandacht besteed.

Met de in de Nota Landelijke Gebieden opgenomen omschrijving wordt aangegeven dat landinrichting een projectsgewijze inrichtingsmaatregel is:

''Landinrichting is het projectsgewijs binnen het kader van de ruimtelijke ordening inrichten van delen van het landelijk gebied voor een nieuwe bestemming dan wel het meer geschikt maken ervan voor bestaande bestemmingen''.

In de Landinrichtingswet wordt in de omschrijving het doel aangegeven. In artikel 4 wordt Landinrichting als volgt omschreven:

''Landinrichting strekt tot verbetering van de inrichting van het landelijk gebied overeenkomstig de functies van het gebied, zoals deze in het kader van de ruimtelijke ordening zijn aangegeven.''

In artikel 5 van deze wet staat dat landinrichting maatregelen en voorzieningen kan omvatten ten behoeve van onder meer:

- a. de land-, tuin- en bosbouw;
- b. de natuur en het landschap;
- c. de infrastructuur;
- d. de openluchtrecreatie;
- e. de cultuurhistorie.

Het begrip landinrichting heeft een bredere betekenis gekregen dan de voorheen gebruikelijke aanduiding ruilverkaveling. Dit heeft er onder andere toe geleid, dat de Ruilverkavelingswet 1954 is vervangen door de Landinrichtingswet, dat de Centrale Cultuurtechnische Commissie (CCC) is opgevolgd door de Centrale Landinrichtingscommissie (CLC) en dat de Cultuurtechnische Dienst (CD) is omgedoopt tot Landinrichtingsdienst (LD).

1.1.3. Ruimtelijke ordening

Voor het begrip ruimtelijke ordening bestaan diverse omschrijvingen. Een veel geciteerde omschrijving is de volgende:

''Ruimtelijke ordening is het zoeken naar en het tot stand brengen van de best denkbare wederzijdse aanpassing van ruimte en samenleving''.

In de Memorie van Antwoord tijdens de parlementaire behandeling van de Wet op de Ruimtelijke Ordening werd ruimtelijke ordening omschreven als:

''het leiding geven bij de ruimtelijke ontwikkeling van een gebied teneinde het ontstaan van een voor de gemeenschap zo gunstig mogelijk geheel te bevorderen.''

De wetgeving op de ruimtelijke ordening heeft ten doel de ruimtelijke samenhang van de verschillende beleidsterreinen te verzekeren. Daarbij is het streven er op gericht te verzekeren dat iedere ruimtelijk relevante beleidsbeslissing wordt getoetst aan en gericht op de doelstellingen van het ruimtelijk beleid.

1.1.4. Sector en facet

Sinds het begin van de jaren '70 is het gebruikelijk overheidsbeleid in te delen in sectorbeleid en facetbeleid, die als "schering en inslag" met elkaar zijn verbonden.

Onder sector wordt verstaan een tak van overheidsactiviteit meestal samenvallend met een departement of een dienst van een departement, zoals bijvoorbeeld landbouw, onderwijs, natuurbescherming, energievoorziening, defensie, verkeer en vervoer, enz.

Onder facet wordt verstaan een bepaald aspect van verschillende sectoractiviteiten. Onderscheiden worden onder andere het ruimtelijk facet, het sociaal-cultureel facet en het economisch facet.

Als sectorwetten zijn te noemen: Ruilverkavelingswet, Wegenwet, Woningwet, Natuurbeschermingswet, Kampeerwet, enz. De Landinrichtingswet wordt wel aangeduid als een multi-sectorale wet.

Als facetwetten zijn te noemen: Wet op de Ruimtelijke Ordening, Welzijnswet, Wet Economische Mededinging, enz.

Streekplannen en bestemmingsplannen worden aangeduid als facetplannen op het gebied van de ruimtelijke ordening.

1.1.5. Structuurschets en structuurschema

Over het algemeen wordt een structuurschets gezien als een instrument van facetplanning en een structuurschema als een instrument, dat op het kruispunt staat van sectorplanning en facetplanning. Een voorbeeld van een structuurschets is de Structuurschets voor de Landelijke Gebieden. Een voorbeeld van een structuurschema is het Structuurschema Landinrichting. Het Meerjarenprogramma Natuur- en Landschapsbehoud is een instrument van sectorplanning.

Het nationaal ruimtelijk beleid op lange termijn is omschreven in de Derde Nota over de Ruimtelijke Ordening, die in drie delen is verschenen (Oriënteringsnota, Verstedelijkingsnota en de Nota Landelijke gebieden).

De algemene beleidslijnen uit deze nota zijn nader uitgewerkt en geconcretiseerd voor de middellange termijn in de Structuurschets voor de landelijke gebieden (1983) en de Structuurschets voor de stedelijke gebieden (1985).

Een structuurschets geeft inzicht in de mogelijke ontwikkelingen die van belang kunnen zijn voor het nationaal ruimtelijk beleid op de lange termijn, de middellange termijn daarbij tevens in beschouwing genomen, en bevat hoofdlijnen en beginselen voor één of meer aspecten van dit beleid. Een structuurschets gaat vergezeld van één of meer kaarten waarop de hoofdlijnen en beginselen voor zover mogelijk in beeld zijn gebracht (besluit op de ruimtelijke ordening -afgekort Bro- 1985). Een structuurschets is dus een weergave van het ruimtelijk facetbeleid. In een structuurschets kunnen doelstellingen, toekomstbeeld en taakstelling worden vervat in richtlijnen voor de ruimtelijke structuur, de inrichting en het beheer van het gebied.

Een structuurschema bevat met betrekking tot een bepaalde sector van rijksbeleid hoofdlijnen en beginselen van algemeen belang voor het nationaal ruimtelijk beleid en geeft in het bijzonder inzicht in de ruimtelijke aspecten van die sector op de lange termijn, de middellange termijn daarbij tevens in beschouwing genomen. Een structuurschema gaat vergezeld van één of meer kaarten waarop de ruimtelijke aspecten van het beleid in die sector voor zover mogelijk in beeld zijn gebracht (Bro 1985). In de regel geeft een structuurschema een verkenning van de in de toekomst mogelijk noodzakelijke voorzieningen van de desbetreffende sector. Onder voorzieningen worden ook projecten verstaan en activiteiten gericht op het in stand houden van natuurwetenschappelijke, cultuurhistorische en landschappelijke waarden.

Een structuurschema staat als het ware op het kruispunt van sectorplanning en de (ruimtelijke) facetplanning. De betreffende sectorminister draagt de eerste verantwoordelijkheid, terwijl de minister belast met zorg voor de ruimtelijk ordening mede ondertekent.

1.1.6. Planologische kernbeslissing

Een planologische kernbeslissing (afgekort pkb) is een plan voor bepaalde aspecten van het nationaal ruimtelijk beleid. Zo'n plan kan bestaan uit structuurschetsen, structuurschema's en concrete beleidsbeslissingen die van belang zijn voor het nationaal ruimtelijk beleid. Voor het tot standkomen van dergelijke belangrijke plannen van de regering voor de verdeling van de ruimte in ons land is een speciale procedure ontwikkeld, de pkb-procedure.

In 1972 verscheen de Nota over de openbaarheid bij de voorbereiding van het ruimtelijk beleid. Op grond van deze nota werd besloten dat er een wettelijke voorziening nodig is voor:

- beslissingen en standpuntsbepalingen over hoofdlijnen en beginselen die van algemeen belang zijn voor het nationaal ruimtelijk beleid;
- beslissingen over concrete beleidsplannen die van belang zijn voor het nationaal ruimtelijk beleid en afwijken van de vastgestelde hoofdlijnen en beginselen, danwel vooruitlopen op dergelijke hoofdlijnen en beginselen.

Doel van de pkb-procedure is over die beslissingen of dat beleid een goed gefundeerde en afgewogen uitspraak te krijgen, die een zo breed mogelijk draagvlak vindt onder de bevolking. Via de pkb-procedure wordt die beslissing of dat beleid ter discussie gesteld en beïnvloedbaar gemaakt. De procedure is ingebouwd in de in 1985 gewijzigde Wet op de Ruimtelijke Ordening (WRO) en in het Besluit op de ruimtelijke ordening (Bro 1985). Het is een kabinetsbeslissing om vast te stellen in welke gevallen van de pkb-procedure gebruik wordt gemaakt.

De procedure is gevolgd bij:

- de drie delen van de Derde nota over de ruimtelijke ordening (Oriënteringsnota, Verstedelijkingsnota en de Nota landelijke gebieden);
- de bij de Verstedelijkingsnota en de Nota landelijke gebieden behorende structuurschetsen voor de verstedelijking en de landelijk gebieden;
- de structuurschema's;
- de beslissingen over onder andere de Waddenzee en de Markerwaard.

De pkb-procedure is als volgt:

Een belangrijk stadium in de pkb-procedure is de publicatie van het beleidsvoornemen van de regering. In dit deel A van de pkb wordt nog niets beslist; het is de basis waarop de procedure van start gaat. Na publicatie van deel A is inspraak mogelijk. De inspraakreacties worden aan de bij het beleid betrokken bewindslieden, ambtenaren en leden van de Tweede Kamer toegezonden. De reacties worden verwerkt en de resultaten daarvan worden uiteindelijk weergegeven in het deel B van de pkb: hoofdlijnen van de inspraak.

Ook wordt door de regering advies over het deel A gevraagd. In ieder geval aan de Raad van Advies voor de Ruimtelijke Ordening (RARO), in een aantal gevallen ook aan andere adviesraden. Het advies wordt gepubliceerd als deel C. Bovendien wordt er door de betrokken bewindslieden bestuurlijk overleg gepleegd met onder andere de besturen van de provincies, de Vereniging van Nederlandse gemeenten en de Unie van Waterschappen voor zover deze daarvoor in aanmerking komen.

Op basis van die gegevens, die op de hierboven beschreven wijzen verkregen worden, wordt vervolgens de regeringsbelissing (deel D) opgesteld. Dit stuk wordt onderworpen aan de goedkeuring van de Tweede Kamer. Ook dat kan via amenderende moties nog tot bijstelling door de regering leiden. De Tweede Kamer zendt het stuk naar de Eerste Kamer, die besluit tot verlening of onthouding van goedkeuring. Tenslotte wordt deel E, de tekst van de na parlementaire behandeling vastgestelde pkb, gepubliceerd. Het beleid zal dan tot uitvoering worden gebracht.

De pkb-procedure heeft geleidelijk aan verfijningen ondergaan, die voor het structureren van de besluitvorming van nut zijn geweest. Het gaat daarbij om het introduceren van het pkb-hoofdstuk, het onderkennen van essentiële beslissingen en het aangeven van hardheidsgraden.

Iedere pkb-nota bevat een zogenaamd pkb-hoofdstuk. Daarin staan systematisch geordend alle beleidsuitspraken geformuleerd, waarover in het kader van de pkb-procedure een beslissing wordt genomen. Binnen dat hoofdstuk wordt onderscheid gemaakt tussen essentiële en overige beslissingen. Een beslissing wordt essentieel genoemd, als hij zodanig bepalend wordt geacht voor de inhoud van de pkb, dat een wijziging ervan in principe de pkb-procedure behoort te doorlopen.

Voorts is in de structuurschema's van bepaalde uitspraken de hardheid aangegeven, waarmee wordt aangeduid of een bepaalde voorziening globaal of volledig is afgewogen.

Ten aanzien van de status van een pkb valt op te merken dat een pkb het midden houdt tussen een beleidsnota en een wet. Zij heeft namelijk slechts beperkte rechtsgevolgen: een inhoudelijke aanwijzing van de minister van VROM aan een gemeente hoeft niet de uitdrukkelijke instemming van de Tweede Kamer, als zij is gebaseerd op een van kracht geworden pkb.

Tenslotte kan nog worden opgemerkt, dat bij opname in de WRO in 1985 de procedure aan termijnen is gebonden en op onderdelen is vereenvoudigd.

1.1.7. Tweesporigheid

Onder tweesporigheid wordt verstaan dat ruimtelijk relevante onderwerpen in twee kaders voorwerp van planning en besluitvorming kunnen zijn, namelijk in het kader van het ruimtelijk facet en in het kader van de desbetreffende sector. Beide afwegingsmechanismen staan zelfstandig naast elkaar en hebben een eigen bestaansrecht. Een besluit genomen in de ene lijn kan dan ook niet automatisch prevaleren boven een besluit genomen in de andere lijn.

Om te bevorderen dat de resultaten van de besluitvorming in de beide lijnen niet met elkaar in strijd zijn, of beter nog, dat zij elkaars doeleinden ondersteunen, is een goede wisselwerking nodig. Om de onderlinge wisselwerking ook procedureel gestalte te geven zijn formele dwarsverbindingen tussen de beide besluitvormingslijnen aangebracht. Daarmee wordt beoogd, fricties vroegtijdig te onderkennen en zo mogelijk op te lossen. De gescheiden besluitvorming leidt ook tot de noodzaak om (op bestuurlijk niveau) eventueel overblijvende conflicten tot een oplossing te brengen en over instrumenten te kunnen beschikken om deze oplossing te laten doorwerken. Zo zal bijvoorbeeld bij een conflict tussen een bestemmingsplan en een landinrichtingsplan er niet alleen een orgaan moeten zijn dat dit conflict tot een oplossing kan brengen (in dit geval Gedeputeerde Staten), maar dit orgaan zal ook in de wetgeving de instrumenten moeten kunnen vinden om deze oplossing te effectueren. Dit orgaan moet de mogelijkheid hebben het landinrichtingsplan aan te passen aan het bestemmingsplan, of omgekeerd, danwel beide plannen aan elkaar aan te passen.

1.2. Historie van de landinrichtingswetgeving

Het uitvoeren van cultuurtechnische werken is voor en vooral na de Tweede Wereldoorlog in belangrijke mate versneld door bepaalde van overheidswege genomen maatregelen ten aanzien van de inrichting van het landelijk gebied. In grote lijnen bestonden die uit het scheppen van wettelijke kaders en het beschikbaar stellen van gelden.

De belangrijkste wetten en beschikkingen zijn:

- a. de Zuiderzeewet (1918);
- b. de Ruilverkavelingswet (1924);
- c. de Ruilverkavelingswet (1938);
- d. de Herverkavelingswet Walcheren (1946) en de Herverkavelingswet Noodgebieden (1953);
- e. de Ruilverkavelingswet (1954);
- f. de Reconstructiewet Midden- Delfland (1977) en de Herinrichtingswet Oost- Groningen en de Gronings- Drentse Veenkoloniën (1977);
- g. de Beschikking (thans Regeling) reconstructie oude glastuinbouwgebieden (BROG 1979, RROG 1985);
- h. de Landinrichtingswet (1985).

In de Zuiderzeewet werd op basis van het plan Lely de afsluiting en gedeeltelijke drooglegging van de Zuiderzee wettelijk geregeld.

De ruilverkavelingswetten van 1924, 1938 en 1954 bevatten de uitgangspunten en spelregels van het totale ruilverkavelingsgebeuren in Nederland. Volgens artikel 2 van de Ruilverkavelingswet 1954 geschiedt ruilverkaveling uit kracht van een overeenkomst of uit kracht van de wet, ter behartiging van de belangen van land-, tuin-, bosbouw of veehoude-

rij. In de loop der jaren is de toepassing van de wet wat ruimer geworden. Ook volgens de ontstane jurisprudentie kan ruilverkaveling meer belangen behartigen dan de in artikel 2 genoemde, zolang de eerst bedoelde belangen de laatstgenoemde niet volledig overheersen.

De Zeeuwse herverkavelingswetten waren speciale wetten voor de herverkaveling van de noodgebieden die door inundatie als gevolg van oorlogshandelingen in 1944 en de watersnood in 1953 waren getroffen.

De reconstructie van Midden- Delfland krachtens de wet is ingegeven door de bijzondere problematiek van het gebied Midden Delfland, welk gebied een bufferzone (open gebied) vormt tussen de bebouwing van Delft enerzijds en die van de steden in het gebied van de Nieuwe Waterweg anderzijds. De wetgever oordeelde voor de inrichting van dit gebied een speciale wet noodzakelijk, aangezien de bestaande wettelijke mogelijkheden ontoereikend waren.

De Herinrichtingswet Oost- Groningen en de Gronings- Drentse Veenkoloniën is een speciale wet die het karakter heeft van een raamwet. De wet heeft een uitgebreide doelstelling. Doel is het bevorderen van een goed woon-, leef- en werkklimaat en de economische en maatschappelijke ontwikkeling van het gebied en omvat de gecoördineerde en waar mogelijk geïntegreerde uitvoering van een groot aantal nader aangeduide maatregelen en voorzieningen.

De Regeling reconstructie oude glastuinbouwgebieden heeft tot doel de knelpunten voor een gezonde economische ontwikkeling in oude glastuinbouwgebieden weg te nemen. Daartoe wil de beschikking bevorderen dat enerzijds ruimte wordt geschapen voor de aanleg en verbetering van infrastructurele voorzieningen alsmede voor een betere verkaveling van de glastuinbouwbedrijven en dat anderzijds de ondernemers worden gestimuleerd tot het verrichten van investeringen in hun bedrijf.

De Landinrichtingswet die op 15 oktober 1985 van kracht is geworden, is de vierde wet na die van 1924, 1938 en 1954 die betrekking heeft op de inrichting van het landelijk gebied. De reeds genoemde Reconstructiewet Midden- Delfland en de Herinrichtingswet Oost- Groningen en de Gronings- Drentse Veenkoloniën zijn te beschouwen als voorlopers van de Landinrichtingswet.

In vergelijking met de wet van 1954 is de agrarische doelstelling van die wet gewijzigd in een meer algemene doelstelling. Verder voorziet de Landinrichtingswet in een betere afstemming van de landinrichting op de ruimtelijke ordening, in een meer gedecentraliseerde besluitvorming en in een aantal nieuwe inrichtingsvormen. De keuze welke vorm van landinrichting wordt toegepast, hangt in belangrijke mate af van de functies die het betrokken gebied ruimtelijk vervult of gaat vervullen.

De inrichting van gebieden op grond van de hierboven genoemde wetten en beschikkingen worden multi-sectorale instrumenten genoemd. Het zijn multi-sectorale instrumenten omdat ze meer dan een doel van het overheidsbeleid dienen, zoals het landbouw-

structuurbeleid, het beleid ten aanzien van verkeer en vervoer enz.

Het Ministerie van Landbouw en Visserij heeft daarnaast een aantal landinrichtings-instrumenten die alleen dienstbaar zijn aan het landbouwstructuurbeleid. Van deze sectorinstrumenten van landinrichting zijn te noemen:

- a. kavelruil;
- b. openbare werken van gemeenten en waterschappen (A-2 werken);
- c. particuliere cultuurtechnische werken (A-3 werken);
- d. boerderijverplaatsing buiten ruilverkaveling.

De Beschikking (thans Regeling) Kavelruil heeft ten doel om op snelle en goedkope wijze via een eenvoudige procedure met overheidshulp tot een betere verkaveling van landbouwgronden te komen. Het gaat hierbij om kleinere projecten van administratieve aard, met een gering aantal deelnemers op basis van vrijwilligheid. De zonodig uit te voeren werken zijn beperkt tot cultuurtechnische aanpassingswerken. Deze regeling bevat een specifieke uitvoering van de ruilverkavelingswet 1954 en thans van de Landinrichtingswet (art. 122) betreffende de ruilverkaveling bij overeenkomst.

1.3. Het beleid met betrekking tot landinrichting

1.3.1. Relatie landinrichting- ruimtelijke ordening

De Wet op de Ruimtelijke Ordening van 1965, gewijzigd in 1985, biedt een algemeen kader waarbinnen alle bij het gebruik van de bodem betrokken belangen tegen elkaar worden afgewogen met het oog op een goede ruimtelijke ordening.

In de Landinrichtingswet wordt met nadruk de koppeling gelegd tussen landinrichting en ruimtelijke ordening.

Tot het van kracht worden van de Wet op de Ruimtelijke Ordening in 1965 was de uitvoering van cultuurtechnische werken niet of nauwelijks geregeld in wettelijke kaders op het terrein van de ruimtelijke ordening.

De Woningwet van 1901 kenden een Plan in Hoofdzaken voor het landelijk gebied, maar dit beperkte zich voornamelijk tot voorschriften voor het oprichten van bebouwing.

De Wet op het Nationale Plan en de Streekplannen kenden een regeling van meldingsgebieden, waarbinnen bepaalde werken gemeld moesten worden en aan een vergunning waren gebonden.

Het sparen van gebieden met landschappelijke en natuurwetenschappelijke waarden is bij ruilverkavelingen verder geregeld door het in de Ruilverkavelingswet 1954 voorgescreven landschapsplan en voorts door middel van de Natuurschoonwet van 1928, de Natuurbeschermingsbeschikking 1940, de Boswet van 1961 en de Natuurbeschermingswet van 1967.

Inrichting van veel gebieden is in het verleden op basis van sectorale wetgeving geschied. Alleen afspraken tussen sectoren (departementen) leidden tot het rekening houden met andere belangen dan die van de eigen sector. In de Wet op de Ruimtelijke Ordening is de wettelijke verplichting tot het afwegen van de verschillende ruimtelijke belangen vastgelegd. De Landinrichtingswet, als multi-sectorale wet sluit daarop aan.

Op drie niveau's zijn er relaties tussen ruimtelijke ordening en landinrichting: op nationaal, provinciaal en gemeentelijk niveau. De Wet op de Ruimtelijke Ordening bracht een scheiding aan tussen program en voorschrift. Het de burger bindende voorschrift is uitsluitend te vinden in het gemeentelijk bestemmingsplan.

Het program kennen we op alle bestuursniveau's. Op gemeentelijk niveau kennen we het structuurplan, bij de provincie het streekplan. Op nationaal niveau wordt gestreefd naar een gecoördineerd nationaal planologisch beleid, gebaseerd op een voortdurend onderzoek, waarvan de resultaten worden neergelegd in rapporten, nota's en richtlijnen. Deze hebben nauwelijks het karakter van plannen met een rechtsgevolg. In het kader daarvan passen de nota's die de pkb-procedure volgen.

De relatie tussen de landinrichting en de ruimtelijke ordening verloopt op genoemde drie niveau's. De afstemming van de verschillende beleidsterreinen op hetzelfde niveau wordt wel aangeduid met horizontale coördinatie. De afstemming tussen de verschillende niveau's wordt aangeduid als verticale coördinatie.

Afstemming op nationaal niveau

Het nationale beleid met betrekking tot de ruimtelijke ordening en de inrichting van het landelijk gebied staat onder andere verwoord in de Nota Landelijke Gebieden en een aantal structuurschema's.

De structuurschema's over "Openluchtrecreatie", over "Landinrichting" en over "Natuur- en Landschapsbehoud" vormen tezamen een uitwerking van een belangrijk deel van de Nota Landelijke Gebieden. De drie schema's - ook wel de drie "groene" structuurschema's genoemd - zijn in samenhang met elkaar opgesteld en hebben nagenoeg gelijktijdig de procedure planologische kernbeslissing doorlopen. Op de drie groene schema's is de zogenaamde "zwaluwstaartkaart" gebaseerd, waarin de 3 kaarten van de schema's zijn verwerkt.

In artikel 6 van de Landinrichtingswet wordt nadrukkelijk verwezen naar het Structuurschema Landinrichting. Gesteld wordt, dat het structuurschema voor een daarin vermelde tijd de hoofdlijnen en beginselen van het nationale landinrichtingsbeleid bevat en in het bijzonder inzicht geeft in de ruimtelijke aspecten van dat beleid. Het structuurschema wordt aangemerkt als een onderdeel van het Regeringsbeleid als bedoeld in artikel 2 van de Wet op de Ruimtelijke Ordening.

Het structuurschema licht het beleid toe met betrekking tot de toepassing van het instrumentarium van de Landinrichtingswet. Het geeft de gebieden aan die voor landinrichting in aanmerking komen. Het bevat het lange-termijn beleid voor de periode tot het jaar 1995 met een doorkijk tot het jaar 2005.

De doorwerking van het structuurschema in het landinrichtingsbeleid geschiedt in het Voorbereidingsschema Landinrichting, dat als het middellange termijnplan voor de landinrichting fungeert.

Het voorbereidingsschema geeft de landinrichtingsprojecten in voorbereiding aan en wordt jaarlijks, nadat provinciale besturen voorstellen daartoe hebben gedaan, door de Minister van Landbouw en Visserij vastgesteld. In het kader van de ruimtelijke ordening vindt het structuurschema zijn uitwerking in het provinciale ruimtelijk beleid, met name in streekplannen en via dat beleid in gemeentelijke bestemmingsplannen.

In het pkb-hoofdstuk van het Structuurschema Landinrichting, dat een samenvatting van de beleidsuitspraken bevat, geeft de regering aan welke beslissingen zij essentieel acht voor het regeringsbeleid.

De essentiële beslissingen betreffen:

- de hoofddoelstelling;
- de hoofdlijnen van beleid;
- het limitatieve karakter van de beleidskaart;
- de uitspraak dat in geval van landinrichting in Grote Landschappelijke Eenheden (GLE's) als regel herinrichting de aangewezen vorm van landinrichting zal zijn.

Afstemming op provinciaal niveau

Op provinciaal niveau gaat het om de afstemming van het voorbereidingsschema en het landinrichtingsplan op het streekplan. Centraal bij de afstemming van landinrichting en ruimtelijke ordening staat het provinciaal beleid en met name het streekplan. Zowel in de Landinrichtingswet als in de gewijzigde Wet op de Ruimtelijke Ordening is in principe gekozen voor het streekplan als integratie-kader van het ruimtelijk beleid. Het streekplan wordt beschouwd als het scharnierpunt tussen het nationaal en het lokaal ruimtelijk beleid en als het toetsingskader voor zowel het landinrichtingsplan als het bestemmingsplan buitengebied.

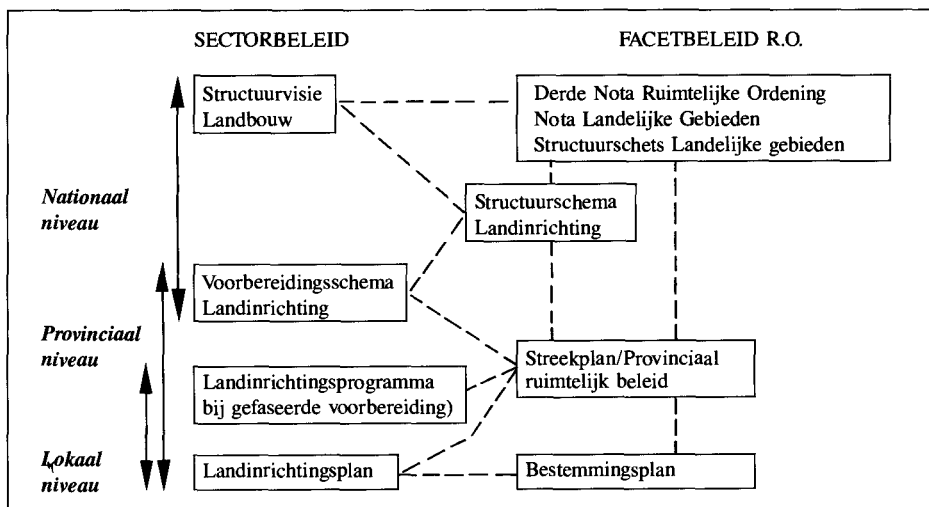
De Landinrichtingswet geeft het provinciaal bestuur op een aantal punten een sleutelpositie. De twee belangrijkste taken en bevoegdheden zijn de volgende:

- Provinciale Staten hebben de exclusieve bevoegdheid om gebieden voor plaatsing op het Voorbereidingsschema landinrichting voor te dragen. Voor de vorm van landinrichting en de wijze van voorbereiding (gefaseerd of verkort) is overeenstemming nodig tussen de Minister van Landbouw en Visserij en Provinciale Staten;
- Provinciale Staten/Gedeputeerde Staten stellen het landinrichtingsprogramma/landinrichtingsplan vast na toetsing van het ontwerp aan de hoofdlijnen van het provinciaal ruimtelijk beleid.

Afstemming op gemeentelijk niveau

Op gemeentelijk projectniveau dienen landinrichtingsplan en bestemmingsplan in overeenstemming te worden gebracht.

In figuur 1.3.1 zijn de relaties tussen ruimtelijke ordening en landinrichting op de drie niveau's in schemavorm weergegeven.



Figuur 1.3.1. Relatieschema ruimtelijke ordening - landinrichting

1.3.2. Hoofddoelstelling

De hoofddoelstelling van het landinrichtingsbeleid is:

”Het binnen het kader van het totale overheidsbeleid inrichten van het landelijk gebied overeenkomstig de daaraan toegekende functies en hun onderlinge samenhang op een zodanige wijze, dat de maatschappelijke betekenis van dat gebied zo goed mogelijk tot zijn recht kan komen”.

1.3.3. Doelstellingen

De hoofddoelstelling van het landinrichtingsbeleid is in het structuurschema nader uitgewerkt in veertien doelstellingen:

- de handhaving of verbetering van de concurrentiepositie van de land- en tuinbouw;
- het opheffen of verminderen van regionale inkomensachterstanden in de land- en tuinbouw;
- de verbetering van de werkomstandigheden in de land- en tuinbouw;
- het verruimen van de keuzemogelijkheden in het grondgebruik voor de land- en tuinbouw op langere termijn;
- de verbetering van de kwaliteit van het landschap;
- het tot stand brengen van een doelmatige en veilige ontsluiting in het landelijk gebied afgestemd op de te vervullen functies;

- de verbetering van de waterhuishouding in het landelijk gebied, gericht op samenhangend en doelmatig waterbeheer en afgestemd op de te vervullen functies passend binnen het algemeen beleid met betrekking tot de waterhuishouding;
- de verbetering van de verkavelingstoestand in het landelijk gebied gericht op een doelmatig gebruik van de grond voor de te vervullen functies;
- het leveren van een bijdrage aan de leefbaarheid van dorpen;
- het leveren van een bijdrage aan een zodanige inrichting van het landelijk gebied dat het verstedelijkingsbeleid wordt ondersteund;
- het leveren van een bijdrage aan de realisering van het beleid met betrekking tot de openlucht recreatie;
- het leveren van een bijdrage aan de veiligstelling en ontwikkeling van natuurgebieden en cultuurhistorische elementen en van natuurwaarden en het scheppen van voorwaarden voor een doelmatig beheer;
- het leveren van een bijdrage aan de ontwikkeling van bestaande en de aanleg van nieuwe bossen en het scheppen van voorwaarden voor een doelmatig beheer;
- de onderlinge aanpassing van de aanleg en verbetering van infrastructurele voorzieningen en de inrichting van het landelijk gebied.

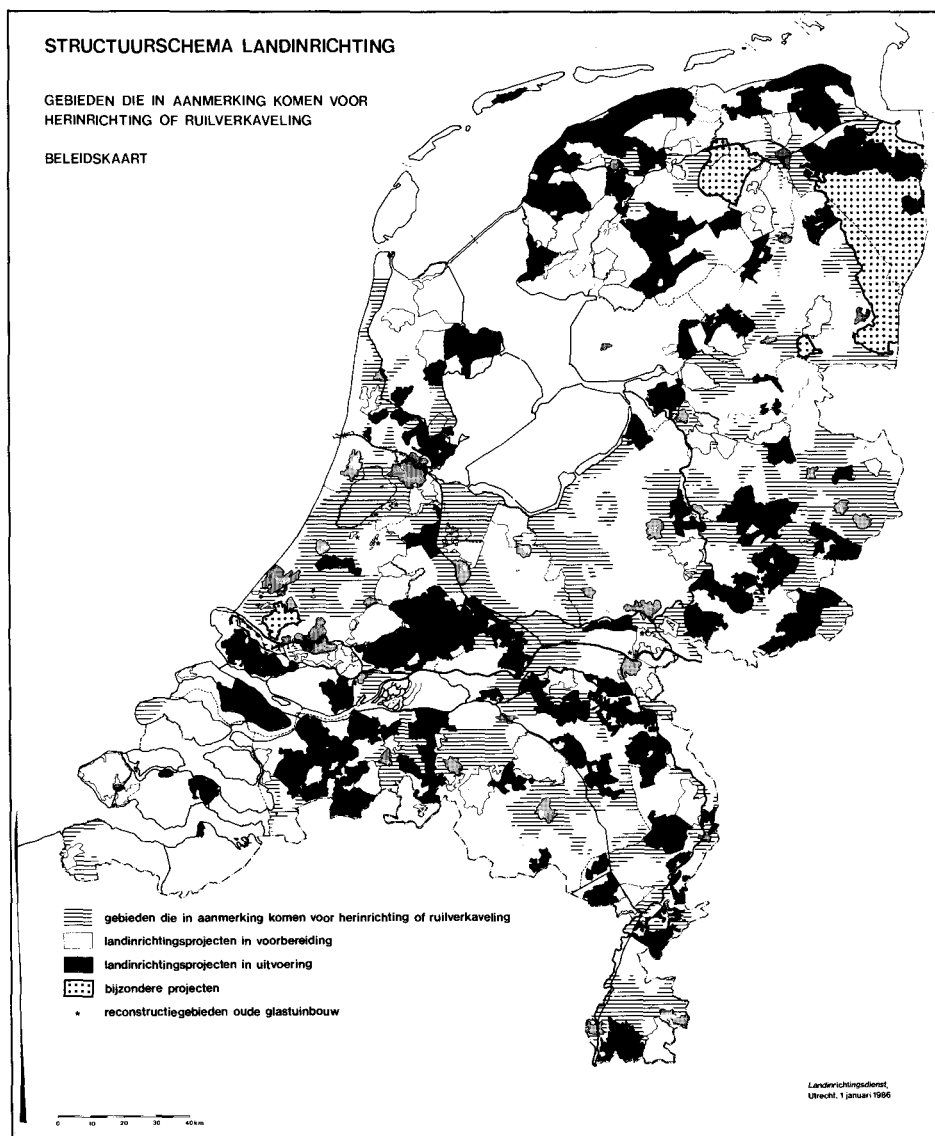
1.3.4. Hoofdpijnen van beleid

Doelstellingen kunnen in hun uitwerking strijdig met elkaar zijn. Om de doelstellingen op een genuanceerde wijze te kunnen verwezenlijken zijn in het structuurschema de volgende hoofdpijnen van beleid uitgewerkt:

- met betrekking tot de land- en tuinbouw zal bij landinrichting als instrument van het landbouwstructuurbeleid het accent worden gelegd op de verwezenlijking van de doelstellingen betreffende het opheffen of verminderen van regionale inkomensachterstanden en de verbetering van de werkomstandigheden;
- met betrekking tot het leveren van een bijdrage aan het verstedelijkingsbeleid legt de regering het accent op de gebieden binnen de stedelijke invloedssfeer en in het bijzonder op de verwezenlijking van de Randstadgroenstructuur en de handhaving van bufferzones aangegeven in de Structuurschets Stedelijke Gebieden 1983. In dat verband zal het beleid met name aandacht besteden aan de doelstellingen voor de land- en tuinbouw, voor bos- en landschapsbouw, voor openlucht recreatie en voor natuur- en landschapsbehoud;
- met betrekking tot waarden van natuur en landschap in het landelijk gebied zal het accent worden gelegd op de doelstellingen tot verbetering van de kwaliteit van het landschap en tot het leveren van een bijdrage aan veiligstelling en ontwikkeling van natuurgebied en en waardevolle cultuurlandschappen en het scheppen van voorwaarden voor een doelmatig beheer;
- in het kader van de verbetering van de woon- en leefomstandigheden in het landelijk gebied zal een accent worden gegeven aan de doelstelling gericht op een doelmatige en veilige ontsluiting van het landelijk gebied in overeenstemming met de functies van dat gebied.

1.3.5. Beleidskaart

Het structuurschema bevat een beleidskaart (figuur 1.3.1) met gebieden die de regering voor herinrichting of ruilverkaveling in aanmerking wil laten komen (in totaal zo'n 695.000 hectare). Deze beleidskaart is de toetssteen voor de plaatsing van gebieden op het Voorbereidingsschema Landinrichting.



Figuur 1.3.1. Beleidskaart

De kaart heeft enerzijds een indicatief karakter. Dat wil zeggen dat niet voor alle gebieden die er op voorkomen automatisch geldt, dat zij op het voorbereidingsschema worden geplaatst. Anderzijds heeft de kaart een limitatief karakter, hetgeen inhoudt, dat met inachtneming van het volgende, geen gebieden buiten de kaart op het voorbereidingsschema kunnen worden geplaatst.

De inventarisaties waarop de beleidskaart is gebaseerd, zijn globaal van aard. Uiteenlopende situaties in delen van gemeenten komen er niet in tot uiting. In samenhang daarmee bestaat de behoefte aan kleine projecten. De regering heeft daarom een marge ten opzichte van het limitatieve karakter van de kaart aangegeven, die het mogelijk maakt om jaarlijks buiten de beleidskaart maar binnen de hoofdlijnen van beleid gemiddeld ca. 1.000 hectare herinrichting en/of ruilverkaveling aan het voorbereidingsschema toe te voegen.

Tijdens de inspraak op en het bestuurlijk overleg over het beleidsvoornemen, alsmede in de advisering van de RARO (Raad van Advies voor de Ruimtelijke Ordening), is een grote behoefte naar voren gekomen aan landinrichtingsprojecten met een administratief karakter waarbij geen of weinig werken worden uitgevoerd. De regering heeft daarom ook hier ten opzichte van het limitatieve karakter van de beleidskaart een marge aangegeven. Hierdoor wordt het mogelijk om jaarlijks buiten de hoofdlijnen van beleid gemiddeld ca. 5.000 hectare aan projecten met een administratief karakter en een laag kostenniveau aan het voorbereidingsschema toe te voegen.

Het rijksaandeel in de kosten van deze projecten mag niet meer dan rond een vijfde bedragen van het gemiddeld rijksaandeel in de kosten van herinrichtingen en ruilverkavelingen in gebieden die op de beleidskaart staan aangegeven. De oppervlakte van deze projecten wordt dan ook maar voor een vijfde verdisconteerd in de totale oppervlakte, thans (1987) 36.000 hectare, die jaarlijks in uitvoering kan worden genomen. Het rijksaandeel (rijksbijdrage en voorfinanciering) mag thans niet meer bedragen dan $f\ 1.100,-$ per ha.

In 1986 is door de CLC besloten dat voor landinrichtingsprojecten met een administratief karakter die zijn gelegen binnen de beleidskaart ook de budgettaire limiet (in 1987 $f\ 1.100,-$) rijksaandeel per ha geldt. De oppervlakte is echter niet aan een maximum gebonden en wordt voor 100% meegerekend in de jaarlijks in uitvoering te nemen 36.000 ha.

Omdat het investeringsniveau per ha voor de verschillende categorieën landinrichtingsprojecten sterk kunnen verschillen, zijn door de CLC omrekeningsfactoren vastgesteld. Hierdoor telt de ene hectare zwaarder dan de andere. Periodiek worden de factoren bijgesteld. De gebieden die vallen onder de Regeling reconstructie oude glastuinbouwgebieden tellen zwaarder dan "gewone" landinrichtingsprojecten. In 1987 tellen ze voor 8,8 maal de nominale oppervlakte. Ruilverkavelingen met een administratief karakter tellen voor 0,22 maal de nominale oppervlakte. Ook voor de niet te herverkavelen gebiedsdelen in de Herinrichting Oost-Groningen en de Gronings-Drentse Veenkolonieën en het bijzondere project "Zuidelijk Westerkwartier" gelden afwijkende factoren.

1.3.6. Inrichtingsfactoren

In het kader van landinrichting worden voor vier inrichtingsfactoren maatregelen en voorzieningen getroffen. Het zijn maatregelen en voorzieningen inzake:

- de ontsluiting;
- de waterbeheersing;
- de verkaveling;
- de landschapsbouw.

De mate en de wijze waarop deze maatregelen en voorzieningen zullen worden getroffen, zullen worden afgestemd op de in het kader van de ruimtelijke ordening gegeven functies. Het beleid ten aanzien van de afzonderlijke inrichtingsfactoren is zowel van toepassing op maatregelen en voorzieningen die in onderlinge samenhang in integrale landinrichting worden getroffen als op die welke afzonderlijk met behulp van sectorinstrumenten tot stand komen.

1.4. Enkele hoofdzaken uit de landinrichtingswet 1985

Bij de bespreking van enkele hoofdzaken uit de Landinrichtingswet zal in het navolgende vrijwel uitsluitend aandacht worden besteed aan ruilverkaveling en herinrichting.

Vormen van landinrichting en keuze daaruit

Omdat tussen gebieden verschillen voorkomen in uitgangssituatie en in de door middel van landinrichting te verwezenlijken doeleinden is in de Landinrichtingswet voorzien in vier vormen van landinrichting:

- herinrichting;
- ruilverkaveling;
- aanpassingsinrichting;
- ruilverkaveling bij overeenkomst.

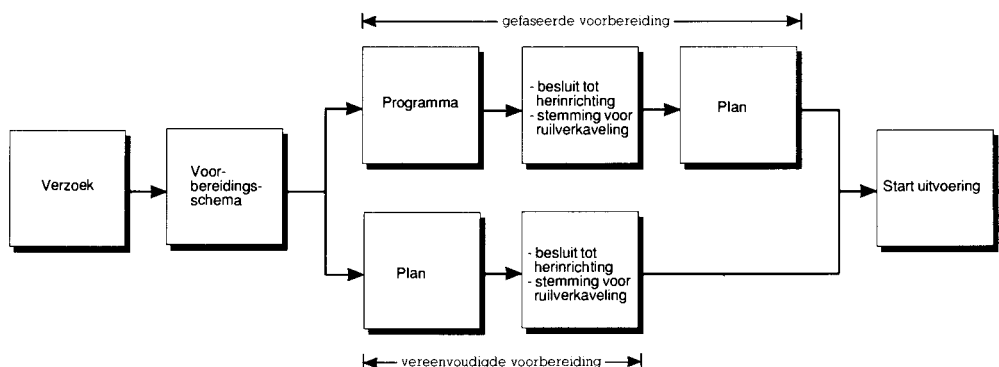
Herinrichting is bedoeld voor gebieden die ruimtelijk naast een agrarische functie in belangrijke mate een niet- agrarische functie vervullen of moeten vervullen.

Ruilverkaveling vindt plaats in gebieden die ruimtelijk een overwegend agrarische functie en niet in belangrijke mate een niet- agrarische functie vervullen of moeten vervullen.

Aanpassingsinrichting wordt toegepast in samenhang met het treffen van een op zichzelf staande infrastructurele voorziening van nationaal of regionaal belang.

Ruilverkaveling bij overeenkomst kan worden toegepast wanneer drie of meer grondeigenaren zich verbinden bepaalde, hun toebehorende goederen samen te voegen en bij notariële akte weer te verdelen.

De algemene procedure van herinrichting en ruilverkaveling is schematisch weergegeven in figuur 1.4.1.

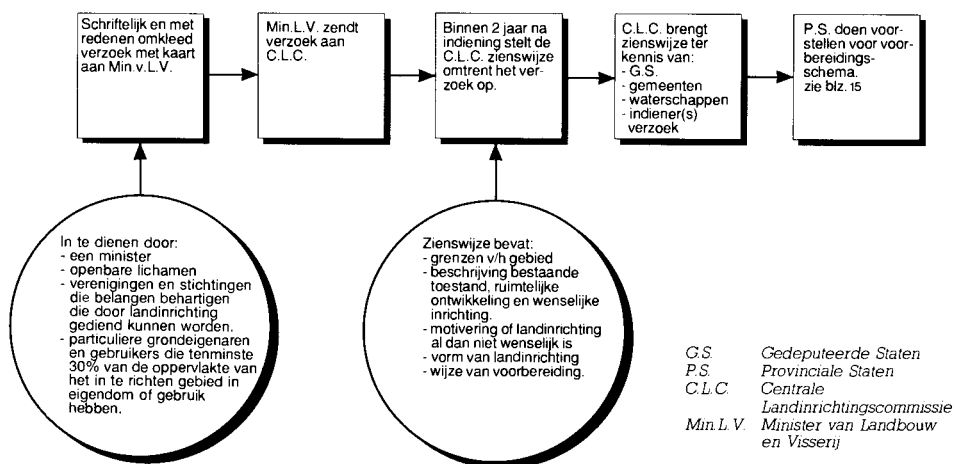


Figuur 1.4.1. Schema algemene procedure bij herinrichting en ruilverkaveling (Landinrichtingsdienst, 1987)

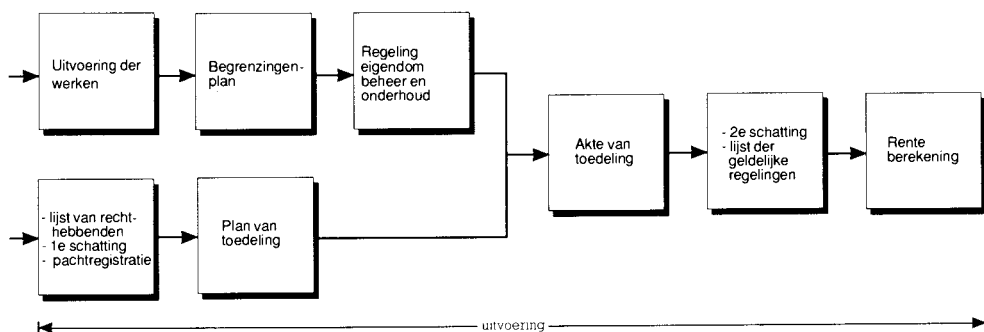
Verzoek om landinrichting (herinrichting of ruilverkaveling)

Een verzoek om landinrichting moet schriftelijk en met redenen omkleed worden ingediend bij de Minister van Landbouw en Visserij. Het verzoek moet vergezeld gaan van een kaart waarop het in te richten gebied is aangegeven. Het verzoek kan worden ingediend door een minister, door provincies, gemeenten, waterschappen en dergelijke, verenigingen en stichtingen die belangen behartigen die door landinrichting gediend kunnen worden en door particuliere grondeigenaren en gebruikers die gezamenlijk tenminste 30% van de oppervlakte van het in te richten gebied in eigendom of gebruik hebben. De minister zendt het verzoek door aan de CLC.

De procedure is schematisch weergegeven in figuur 1.4.2.



Figuur 1.4.2. Schema verzoek om landinrichting (Landinrichtingsdienst, 1987)



Centrale landinrichtingscommissie (CLC)

De Centrale Landinrichtingscommissie (in de wet aangeduid als de centrale commissie) is het overleg-, beleids- en adviesorgaan voor landinrichting op rijksniveau en is belast met de algemene leiding betreffende landinrichtingsaangelegenheden. Tot de taakstelling van de centrale commissie behoort onder andere:

- haar zienswijze te geven naar aanleiding van elk verzoek tot landinrichting;
- een voordracht op te stellen ten behoeve van de Minister van Landbouw en Visserij met betrekking tot het voorbereidingsschema;
- het vaststellen van het landinrichtingsprogramma en het landinrichtingsplan;
- toezicht op de uitvoering van door GS vastgestelde landinrichtingsplannen.

Zienswijze

Binnen 2 jaar na indiening van het verzoek tot landinrichting stelt de CLC haar zienswijze omtrent het verzoek op. De zienswijze bevat:

- de grenzen van het gebied alsmede in geval van herinrichting die van de blokken;
- een beschrijving van de bestaande toestand, de ruimtelijke ontwikkeling en de wenselijk geachte inrichting;
- de motivering of landinrichting al dan niet wenselijk is en zo ja in welke vorm;
- de wijze van voorbereiding: gefaseerd of vereenvoudigd.

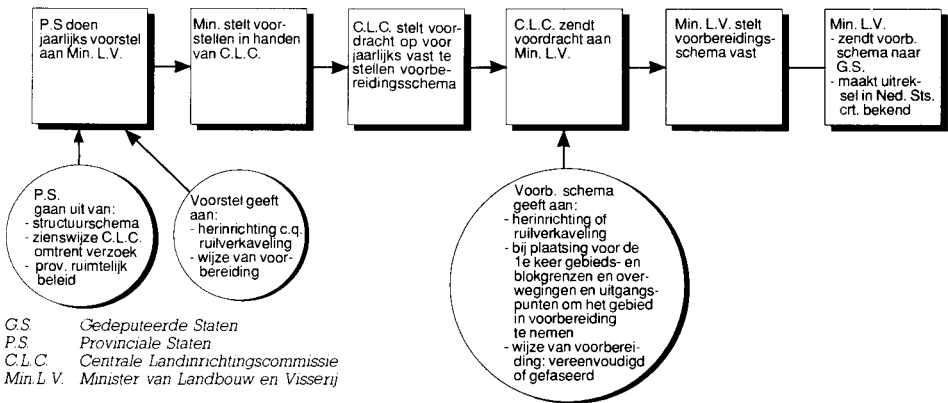
De CLC brengt haar zienswijze ter kennis van Gedeputeerde Staten, gemeenten, waterschappen en de indiener(s) van het verzoek.

Voorbereidingsschema Landinrichting

Het Voorbereidingsschema Landinrichting, dat jaarlijks wordt vastgesteld, geeft de gebieden aan waar herinrichting of ruilverkaveling wordt voorbereid. Een belangrijke grondslag hiervoor is het reeds eerder genoemde Structuurschema Landinrichting. Provinciale Staten kunnen jaarlijks, elk voor hun provincie, voorstellen aan de Minister van

Landbouw en Visserij doen toekomen ten behoeve van de vaststelling van het voorbereidingsschema. De minister stuurt de voorstellen door naar de CLC. De CLC stelt een voordracht op en zendt dit aan de minister. Deze stelt het voorbereidingsschema vast en zendt het vervolgens naar Gedeputeerde Staten. De procedure is schematisch weergegeven in figuur 1.4.3.

Het voorbereidingsschema geeft voor ieder daarop vermeld gebied aan of herinrichting danwel ruilverkaveling wordt voorbereid. Indien een gebied voor de eerste keer op het voorbereidingsschema wordt vermeld, worden daarbij aangegeven de voorlopige gebieds- en blokgrenzen en de overwegingen en uitgangspunten om het gebied in voorbereiding te nemen, alsmede of de wijze van voorbereiding gefaseerd danwel vereenvoudigd zal verlopen.



Figuur 1.4.3. Schema procedure voorbereidingsschema landinrichting (Landinrichtingsdienst, 1987).

Landinrichtingscommissie (LC)

Nadat een gebied op het voorbereidingsschema is geplaatst, stellen Gedeputeerde Staten een landinrichtingscommissie in met betrekking tot dat gebied. (Deze landinrichtingscommissie vervangt de vroegere voorbereidingscommissie en de plaatselijke commissie.)

Deeladviezen, schetsontwerp

Bij Algemene Maatregel van Bestuur is geregeld dat na de benoeming van een landinrichtingscommissie wordt begonnen met het maken van deeladviezen.

De deeladviezen zijn het landbouwstructuuradvies, het advies natuur- en landschapsbehoud, het advies landschapsbouw en het advies openluchtrecreatie. In deze adviezen worden per functie de bestaande situatie en de aanwezige knelpunten beschreven. Bovendien geven de adviezen de wensen van de sectoren voor de inrichting.

Rekening houdend met deze wensen en binnen de randvoorwaarden van de ruimtelijke ordening, stelt de landinrichtingscommissie een schetsontwerp op. Bepalingen omtrent het schetsontwerp zijn gegeven in de Regeling werkwijze landinrichtingscommissie. Het schetsontwerp bevat als regel onder meer een analyse van de wensen uit de deeladviezen, alternatieve schetsen voor de verbetering van de inrichting, alsmede een samenvatting van de evaluatie van de alternatieve schetsen. Voorts worden in het schetsontwerp aanbevelingen gedaan voor het voorontwerp-landinrichtingsprogramma c.q. het voorontwerp-landinrichtingsplan.

Gefaseerde of vereenvoudigde voorbereiding

De voorbereiding van een herinrichting of ruilverkaveling kan volgens de gefaseerde of volgens de vereenvoudigde procedure plaatsvinden, afhankelijk van de complexiteit van de problemen die in een gebied aan de orde zijn. Bij de gefaseerde procedure dient eerst een landinrichtingsprogramma te worden opgesteld en pas daarna een plan. Bij de vereenvoudigde voorbereiding wordt meteen een landinrichtingsplan opgesteld.

(Voorontwerp)-landinrichtingsprogramma bij gefaseerde voorbereiding

Een landinrichtingsprogramma beoogt de doelstellingen en uitgangspunten van landinrichting vast te stellen, opdat de inrichting van een bepaald gebied zo goed mogelijk kan worden afgestemd op de functies die het vervult of moet gaan vervullen. Op basis van het programma wordt besloten of het project al dan niet in uitvoering wordt genomen. Voorafgaande aan het landinrichtingsprogramma wordt een voorontwerp van het programma opgesteld. Zodra het voorontwerp gereed is, maakt de landinrichtingscommissie dit in het gebied bekend. Hierna is er drie maanden gelegenheid voor inspraak, waarbij er voorlichtings- en inspraakbijeenkomsten worden georganiseerd. De landinrichtingscommissie maakt een verslag van de inspraak en brengt zonodig wijzigingen aan in het voorontwerp. Vervolgens stuurt de landinrichtingscommissie het voorontwerp met het verslag van de inspraak naar de CLC. Deze toetst het voorontwerp aan het nationale beleid en de financiële gevolgen en stelt het programma, eventueel gewijzigd, in ontwerp vast. De CLC stuurt dit ontwerp naar Gedeputeerde Staten. GS leggen het ontwerp-programma gedurende een maand ter inzage. Na de bezwarenbehandeling wordt het programma door Provinciale Staten vastgesteld na toetsing aan de hoofdlijnen van het provinciaal ruimtelijk beleid. Zij houden zonodig rekening met de ingediende bezwaren. Als Provinciale Staten van het ontwerp-programma afwijken, dan kan de Kroon, op voorstel van de Minister van Landbouw, dit besluit vernietigen.

Besluitvorming bij gefaseerde voorbereiding

Gelijktijdig met het besluit tot vaststelling van het landinrichtingsprogramma wordt door Provinciale Staten het besluit genomen of herinrichting al dan niet plaats zal vinden. Er vindt in het gebied geen stemming plaats. In geval van ruilverkaveling wordt door Provinciale Staten gelijktijdig met het besluit tot vaststelling van het landinrichtingsprogramma besloten, dat een stemming wordt gehouden. De beslissing of ruilverkaveling zal plaatsvinden, wordt via deze stemming genomen door de eigenaren en pachters.

Stemgerechtigd zijn:

- eigenaren;
- pachters, alleen op eigen verzoek, met een schriftelijke pachtovereenkomst met de goedkeuring van de Grondkamer en voor de wettelijke duur.

Voor het nemen van een besluit tot ruilverkaveling is de toestemming vereist van:

- a. hetzij de meerderheid van eigenaren en geregistreerde pachters, voor zover zij aan de stemming deelnemen;
- b. hetzij van hen die voor meer dan de helft van de totale kadastrale oppervlakte, waarvoor stemmen zijn uitgebracht, rechthebbend zijn.

Nadat voor een gebied bij de gefaseerde voorbereiding is besloten tot herinrichting of ruilverkaveling wordt een landinrichtingsplan opgesteld.

(Voorontwerp)-landinrichtingsplan

Bij de vereenvoudigde voorbereiding wordt na het uitbrengen van de deeladviezen en het maken van een schetsontwerp door de landinrichtingscommissie een voorontwerp-landinrichtingsplan opgesteld. Bij de gefaseerde voorbereiding wordt dit plan gebaseerd op het landinrichtingsprogramma.

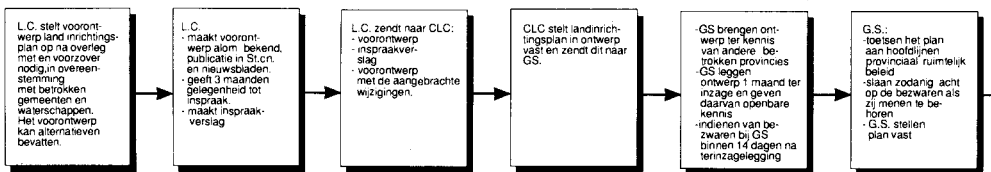
Op grond van de uitkomsten van inspraak en overleg kan de landinrichtingscommissie het voorontwerp nog wijzigen. De commissie stuurt het voorontwerp, het inspraakverslag en het gewijzigde voorontwerp naar de CLC, die het landinrichtingsplan in ontwerp vaststelt en doorstuurt naar Gedeputeerde Staten. GS leggen het ontwerp 1 maand ter inzage. Binnen 14 dagen na terinzagelegging kunnen bezwaren worden ingediend. GS toetsen het plan aan de hoofdlijnen van het provinciaal ruimtelijk beleid en slaan zodanig acht op de bezwaren als zij menen te moeten doen. Als GS bij het vaststellen van het landinrichtingsplan willen afwijken van het ontwerp-plan, dan vragen zij daarover eerst advies aan de CLC. Als GS bij de vaststelling van het plan van dit advies afwijken, dan kan de Kroon dit besluit geheel of gedeeltelijk vernietigen.

In figuur 1.4.4 is voormelde procedure schematisch weergegeven.

GS Gedeputeerde Staten

CLC Centrale Landinrichtingscommissie

L. C. Landinrichtingscommissie



Figuur 1.4.4. Schema vereenvoudigde voorbereiding van een landinrichtingsplan (Landinrichtingsdienst, 1987)

Besluitvorming bij vereenvoudigde voorbereiding

Gelijktijdig met het vaststellen van het landinrichtingsplan wordt door GS tot herinrichting besloten, of in geval van ruilverkaveling tot het houden van een stemming onder eigenaren en pachters.

Uitvoering

Zodra een landinrichtingsplan of een gedeelte daarvan, of een aanpassingsplan is vastgesteld, kan de landinrichtingscommissie de uitvoering hiervan ter hand nemen.

De uitvoering bestaat uit een technisch gedeelte (bijvoorbeeld het reconstrueren van wegen, het graven van waterlopen en het inrichten van kavels) en een administratief gedeelte (bijvoorbeeld het toedelen van nieuwe kavels aan eigenaren en pachters). Voordat met het technische werk wordt begonnen wordt eerst bepaald wat de "inbreng" van de rechthebbenden is.

Vaststellen rechten, lijst van rechthebbenden

De landinrichtingscommissie stelt voor elk blok een lijst van alle rechthebbenden samen met vermelding van de aard en omvang van ieders recht.

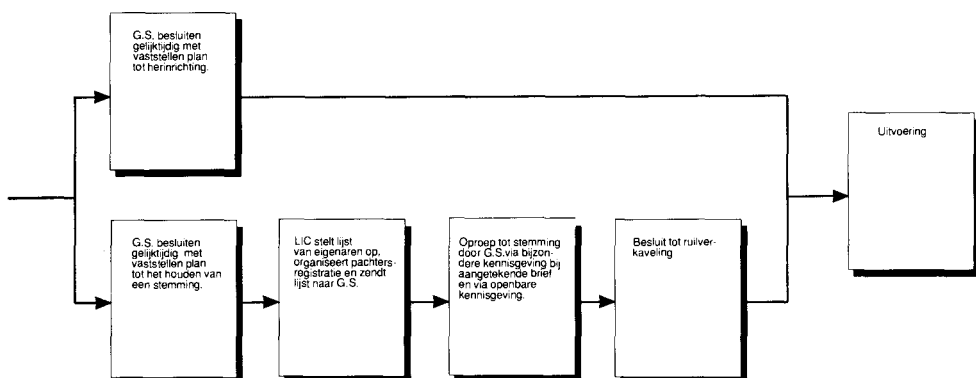
Eerste schatting

Voor ieder blok wordt door de centrale commissie een stelsel van classificatie van de gronden vastgesteld, nadat het stelsel van classificatie in ontwerp 14 dagen ter inzage heeft gelegen. Hiertegen kan bezwaar worden aangetekend.

Het stelsel van classificatie bevat onder andere:

- een algemene beschrijving van de aard, de kenmerken en het gebruik van de gronden;
- de indeling in klassen van de te schatten gronden;
- voor elke klasse de geschatte agrarische waarde per ha, die als uitgangspunt dient voor de toedeling.

De landinrichtingscommissie benoemt de schatters die de eerste schatting zullen verrichten overeenkomstig het vastgestelde stelsel van classificatie.



De resultaten van de eerste schatting worden vastgelegd in een register van schattingsuitkomsten en op een kaart met klassegrenzen. Deze resultaten liggen gedurende een maand ter inzage.

Begrenzingsplan

De CLC stelt voor een gebied, waarvoor een landinrichtingsplan is vastgesteld, een begrenzingsplan vast. Op een of meerdere kaarten wordt, overeenkomstig het landinrichtingsplan, aangegeven:

- het stelsel van wegen, waterlopen, dijken en kaden met daarbij behorende kunstwerken;
- natuurgebieden, elementen van landschappelijke, recreatieve, cultuur-historische of natuurwetenschappelijke waarde alsmede voorzieningen van openbaar nut.

Regeling eigendom, beheer en onderhoud van onroerende goederen van algemeen nut

Gedeputeerde Staten wijzen op basis van het begrenzingsplan de eigendom van de openbare wegen en waterlopen met de bijbehorende kunstwerken toe aan openbare lichamen of andere rechtspersonen en regelen tevens het beheer en onderhoud van openbare wegen, waterlopen, dijken en kaden met de daarbij behorende kunstwerken.

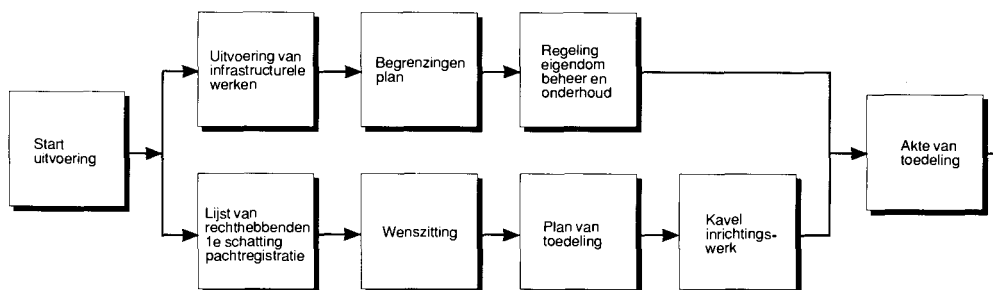
Plan van tijdelijk gebruik

Om de uitvoering van een landinrichtingsplan mogelijk te maken, maar daarbij de bedrijven zo min mogelijk in hun exploitatie te hinderen, kan de landinrichtingscommissie de tot het blok behorende gronden tijdelijk in gebruik geven overeenkomstig een daartoe vastgesteld en goedgekeurd plan van tijdelijk gebruik (voorloper plan van toedeling).

Herverkaveling

Onder herverkaveling wordt in de wet verstaan de samenvoeging, verkaveling en verdeling van onroerende goederen.

De procedure is weergegeven in figuur 1.4.5.



Figuur 1.4.5. Schema procedure herverkaveling (Landinrichtingsdienst, 1987).

Bepalingen omtrent het recht van de eigenaar

Iedere eigenaar heeft aanspraak op het verkrijgen van een recht van dezelfde aard als hij had op zijn in het blok gelegen onroerende goederen tenzij het betreffende onroerend goed voor de verwezenlijking van het landinrichtingsplan ter onteigening is aangewezen. Bij herinrichting kan in het belang van het blok maximaal 3 % worden gekort op de waarde van de inbreng ten behoeve van openbare wegen en waterlopen en daarmee samenhangende voorzieningen. Voorts is onteigening mogelijk ten behoeve van de realisering van andere doeleinden van openbaar nut.

Bij ruilverkaveling kan maximaal 5 % worden gekort voor doeleinden van openbaar nut, zoals wegen, waterlopen, openluchtrecreatie, natuur en landschap. Voorts biedt de wet de mogelijkheid, om bij toedeling tegen de wil van de eigenaar maximaal 5 % af te wijken van de waarde, waar een eigenaar recht op heeft. Van deze mogelijkheid kan worden gebruik gemaakt als bijvoorbeeld de ligging van wegen en waterlopen het onmogelijk maken exact de waarde toe te delen.

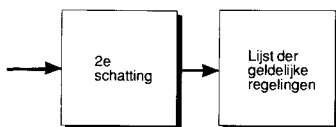
In een aantal gevallen kan in plaats van toewijzing van grond een algehele vergoeding in geld plaatsvinden.

Bepalingen omtrent pacht

Iedere pachter van een in een landinrichtingsproject gelegen onroerend goed heeft aanspraak op het in pacht verkrijgen van eenzelfde waarde in kavels, mits de pachtovereenkomst aan de landinrichtingscommissie ter registratie is ingezonden.

Plan van toedeling

De centrale commissie stelt voor ieder blok richtlijnen vast die de grondslag vormen voor het te ontwikkelen plan van toedeling. Na vaststelling van de richtlijnen kunnen alle belanghebbenden hun wensen kenbaar maken. De landinrichtingscommissie ontwerpt, met inachtneming van de richtlijnen en wensen van de belanghebbenden, een plan van toedeling. Dit plan ligt een maand ter inzage. Iedere belanghebbende kan bezwaren indienen



tegen het plan van toedeling. De landinrichtingscommissie probeert overeenstemming te bereiken over de bezwaren. Lukt dit niet, dan worden de bezwaren voorgelegd aan de rechter-commissaris. Indien ook deze geen overeenstemming kan bereiken, dan wordt de zaak doorverwezen naar de arrondissementsrechtbank.

Akte van toedeling

Zodra de lijst van rechthebbenden is gesloten, het plan van toedeling vaststaat en GS over eigendom, beheer en onderhoud van onroerende goederen van algemeen nut besluiten hebben genomen, wordt de akte van toedeling opgemaakt en overgeschreven in de openbare registers van het kadaster, waarbij de daarin omschreven zakelijke rechten worden verkregen.

Tweede schatting

Tijdens de tweede schatting wordt voor iedere eigenaar de verandering van de waarde van de gronden en de overige onroerende goederen als gevolg van de ruilverkaveling, geschat door speciaal hiervoor benoemde schatters in opdracht van de landinrichtingscommissie.

Lijst der geldelijke regelingen, renteberekening

Nadat de tweede schatting heeft plaatsgevonden, wordt de lijst der geldelijke regelingen opgesteld waarin de uitkomsten van de schatting staan alsmede de opgave van de daaruit voortvloeiende kosten voor de betrokken eigenaren. Bezwaren tegen de lijst der geldelijke regelingen kunnen binnen 14 dagen na de ter inzage legging worden ingediend bij de landinrichtingscommissie. De landinrichtingscommissie onderzoekt de bezwaren en tracht overeenstemming te bereiken. De bezwaren van hen met wie geen overeenstemming is bereikt worden vervolgens behandeld door de rechter-commissaris. Ook hij probeert tot overeenstemming te komen. Voor zover verschillen blijven bestaan, verwijst de rechter-commissaris de zaak naar een nader te bepalen zitting van de rechtbank. Tegen de uitspraak van de arrondissementsrechtbank staat uitsluitend het rechtsmiddel van cassatie open.

De rente bedraagt 6 % van het verschuldigde bedrag. De rente wordt 26 jaar lang geheven.

Versnelde procedure bij herverkaveling

De landinrichtingswet kent een tweetal mogelijkheden om de procedure van herverkaveling te versnellen. Het is mogelijk tegelijkertijd de lijst van rechthebbenden, de uitkomsten van de eerste schatting en het plan van toedeling ter inzage te leggen. Voorts is het mogelijk gelijktijdig het plan van toedeling en de lijst van geldelijke regelingen ter inzage te leggen.

Op voorstel van de landinrichtingscommissie kan door de CLC tot een versnelde procedure worden besloten.

1.5. Literatuur

Ban, J.P.A. van den, 1985.

Het gebruik van de Landinrichtingswet.

Dictaat doctoraalcollege, Vakgroep Cultuurtechniek Landbouwhogeschool Wageningen.

Bogaerts, M.J.M., 1982.

Landinrichting en Kadaster. Op goede gronden. p. 159-157. Staatsuitgeverij (1982).

Brussaard, W., 1986.

Planologische kernbeslissingen. In: Recht in ontwikkeling. Tien agrarisch-rechtelijke opstellen. p. 25-41, Kluwer, Deventer.

Crijns, A.W.N.J., 1984.

Ontwerp-Landinrichtingswet naar de Eerste Kamer. Waterschapsbelangen, 69(20): p. 530-536.

Drexhage, E.C. en G.E. de Vries-Heynis, 1986.

Wet op de Ruimtelijke Ordening. Nederlandse staatswetten, Editie Schuurmans en Jordens 64. Tjeenk Willink, Zwolle.

Georg, G.J.R. met medewerking van A.W.N.J. Crijns, 1984/1985

Landinrichtingswet. De Landeigenaar, 30(12); 31(2); 31(3); 31(4); 31(5); 31(6); 31(9); 31(10).

Kramer, Q.J.M., 1985.

Van ruilverkavelingswet naar landinrichtingswet.

Bedrijfsontwikkeling, 16(6): p. 237-239.

Kramer, Q.J.M., 1985.

Landinrichtingswet. Nederlandse staatswetten, Editie Schuurmans en Jordens, 101. Tjeenk Willink, Zwolle.

Landinrichtingsdienst, 1986.

De Landinrichtingswet. In: Jaarverslag 1985 Centrale Cultuurtechnische Commissie, Centrale Landinrichtingscommissie, Landinrichtingsdienst. Landinrichtingsdienst, Utrecht.

Landinrichtingsdienst, 1987.

De Landinrichtingswet. Een samenvatting van de hoofdzaken. Voorlichtingsbrochure. Landinrichtingsdienst, Utrecht.

Naeff, G.C. en H.Kamphuis, 1986.

Het provinciaal ruimtelijk beleid voor landinrichting. Rijks Planologische Dienst, Den Haag.

Rodrigues Lopes, D.L.

Landinrichting (Landinrichtingswet). In: Praktijkboek Onroerend Goed. Kluwer, Deventer.

Wetsontwerp tot wijziging van de Wet op de Ruimtelijke Ordening. Tweede Kamer (1977-1985), 14889 en 19018. Staatsblad 1985, nrs. 623-626.

2. Openluchtrecreatie

2.1. Planning van recreatievoorzieningen bij de voorbereiding van landinrichtingsprojecten

2.1.1. Algemeen

Bij de planning van recreatievoorzieningen op projectniveau behoren drie begrippen centraal te staan die alle betrekking hebben op de aard en intensiteit van het recreatief gebruik van het plangebied:

- *normatieve druk*: gewenst recreatief gebruik, uitgaande van de doelstellingen van het recreatiebeleid ten aanzien van het recreatiepatroon van de bevolking van de regio waarin het plangebied is gelegen;
- *opnamecapaciteit*: toelaatbaar recreatief gebruik van het plangebied gezien vanuit de gesteldheid van en toegekende functies aan het gebied.
- *bezoek*: werkelijk recreatief gebruik van het plangebied door recreanten.

Voor een verantwoorde planning van recreatievoorzieningen in het kader van een project zal een vergelijking moeten worden gemaakt tussen de normatieve recreatiedruk op en de opnamecapaciteit van het bezoek aan het plangebied.

Daarbij zijn de drie genoemde aspecten van de recreatieve functie van het plangebied in drie verschillende situaties van belang, namelijk:

- a. de situatie zoals die zich momenteel voordoet (*de actuele situatie*);
- b. de situatie die in de toekomst zal ontstaan zonder dat het landinrichtingsproject wordt uitgevoerd, maar waarbij wel rekening wordt gehouden met uitvoering van andere plannen die effecten zullen hebben voor de recreatieve functie van het plangebied (*autonome ontwikkeling*);
- c. de situatie zoals zal ontstaan na uitvoering van het landinrichtingsplan (*plansituatie*).

Op basis van een vergelijking van de normatieve recreatiedruk, de capaciteit van de recreatiemogelijkheden en het bezoek van recreanten aan het plangebied voor de actuele situatie en voor de autonome ontwikkeling, kunnen voorstellen worden gedaan tot het nemen van maatregelen en de aanleg van voorzieningen voor de recreatieve inrichting van het plangebied zodat gesignaleerde knelpunten in de toekomst zullen worden opgeheven of verminderd (zie tabel 2.1.1).

Tabel 2.1.1. Schema ter vaststelling knelpunten en wensen

Centrale begrippen	Te berekenen voor		Wenselijkheid aanleg nieuwe voorzieningen*	
Normatieve recreatiedruk	(B)	actuele situatie (AS)	Knelpunten en wensen programma	gewenst $\begin{pmatrix} C < V < B \\ C < B < V \end{pmatrix}$
Opnamecapaciteit	(C)	autonome ontwikkeling (AO)		onnodig $\begin{pmatrix} V < B < C \\ B < V < C \end{pmatrix}$
Bezoek van recreanten	(V)	plansituatie (VP)		twijfelachtig $\begin{pmatrix} V < C < B \\ B < C < V \end{pmatrix}$

* C = (opname)capaciteit; B = normatieve recreatiedruk; V = bezoek van recreanten op maatgevende dag.

Evaluatieberekeningen als onderdeel van de HELP-procedure

Voor het evalueren van de effecten voor de openluchtrecreatie van een landinrichtingsplan in de fase van het schetsontwerp worden drie criteria gehanteerd:

- de jaarlijkse kosten van aanleg en onderhoud van één recreatieplaats gerealiseerd als onderdeel van het plan van voorzieningen (in guldens per recreatieplaats);
- de jaarlijkse kosten van het plan van voorzieningen omgerekend per recreatie-uur dat per jaar meer in het plangebied wordt doorgebracht als gevolg van de uitvoering van het plan (in guldens per recreanten-uur);
- de verhouding tussen het totaal aantal bezoekers van het plangebied en de capaciteit van het geheel aan recreatiemogelijkheden in het plangebied in de plansituatie vergeleken met de verhouding tussen bezoek en capaciteit bij de autonome ontwikkeling.

2.1.2. Berekening van normatieve recreatiedruk

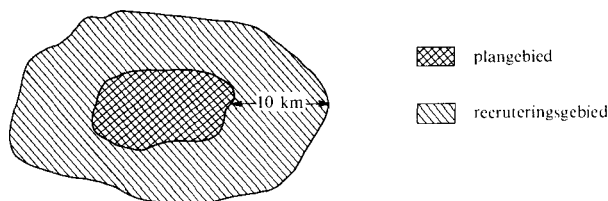
Bij het vaststellen van de normatieve recreatiedruk op een plangebied i.c. landinrichtings-gebied dienen de volgende vragen te worden beantwoord:

- welk gebied wordt aangenomen als recruteringsgebied van de beschouwde recreatie-voorzieningen of tot welke afstand wordt aangenomen dat de voorzieningen in het plangebied zullen worden bezocht;
- met hoeveel recreanten vanuit de woonkernen, liggend binnen het recruteringsgebied, dient rekening te worden gehouden;
- van welk deel van de onder b. genoemde recreanten wordt aangenomen dat zij op de voorzieningen in het plangebied zijn georiënteerd.

Eén van de doeleinden van het recreatiebeleid is dat wordt gekomen tot een ruimtelijke verdeling van de recreatieve voorzieningen zodat iedereen bepaalde voorzieningen bin-nen zijn/haar bereik heeft.

Dit wordt in beleidsnota's zoals het Structuurschema Openluchtrecreatie en de diverse provinciale recreatienota's vertaald in een afstand die maximaal behoeft te worden afgelegd. Door een bepaalde afstand als norm aan te nemen kan de begrenzing van het recruteringsgebied (= het gebied waarvandaan recreanten kunnen worden toegerekend) naar het plangebied worden vastgelegd. Indien bijvoorbeeld 10 km wordt aangehouden, bestaat het recruteringsgebied uit alle (delen van) gemeenten die binnen het plangebied liggen of minder dan 10 km van de grens van het plangebied verwijderd liggen (zie fig. 2.1.1).

*Figuur 2.1.1.
Plangebied en
recruteringsgebied*



Het aantal recreanten waarmee rekening dient te worden gehouden, wordt afgeleid uit het aantal inwoners van de woonkernen liggend in het recruteringsgebied en het deelnemingspercentage (participatiegraad) van de bevolking aan de verschillende recreatievormen. Het aantal inwoners van een gemeente is objectief vast te stellen uit gemeentelijke bestanden (verzameld door het CBS).

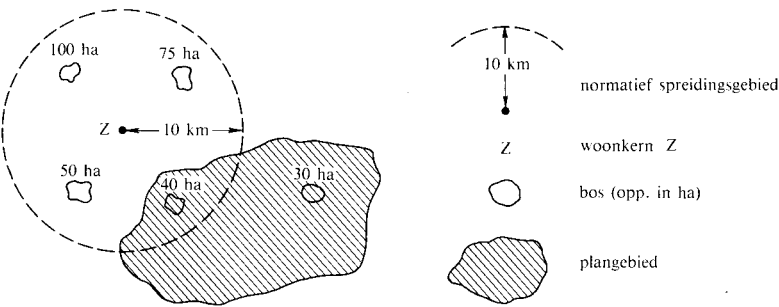
Het deelnemingspercentage van de bevolking waarvan wordt uitgegaan bij de berekening van de normatieve recreatiedruk zal moeten worden vastgesteld als normstelling in overleg met de voor de openluchtrecreatie verantwoordelijke instanties i.c. de consulent openluchtrecreatie en de provinciale diensten. Indien aanwezig, kunnen deze normatieve deelnemingspercentages worden overgenomen uit beleidsnota's geldend voor de provincie/regio waarin het plangebied is gelegen.

Om uiteindelijk de recreatieve druk op het plangebied vast te stellen vanuit de vraag naar recreatie, dient te worden aangegeven per gemeente en voor de onderscheiden recreatievormen afzonderlijk, welk deel van de recreanten op het plangebied geïnteresseerd zullen zijn. De "oriëntatiegraad" zal per gemeente variëren en is afhankelijk van:

- de afstand van de gemeente/woonkern tot het plangebied: hoe dichterbij hoe hoger de oriëntatiegraad;
- de ruimtelijke verdeling van de betreffende recreatievoorziening rondom de gemeente: hoe meer van het geheel aan voorzieningen binnen de afstand die als norm (onder a) is aanvaard, hoe lager de oriëntatiegraad op het plangebied.

Bij het vaststellen van de normatieve recreatiedruk op het landinrichtingsgebied (dat meestal beperkt van omvang is) wordt als regel gehanteerd dat de oriëntatiegraad op het plangebied gelijk wordt gesteld aan het deel van de recreatievoorzieningen binnen de normafstand van de gemeente, dat ligt binnen het plangebied. Daarbij wordt rekening gehouden met de omvang en kwaliteit van de voorzieningen door uit te gaan van schattingen van de opnamecapaciteit ervan.

In het voorbeeld van figuur 2.1.2 ligt $100 + 75 + 50 + 40 = 265$ ha bos als wandelgebied binnen een afstand van 10 km vanuit de woonkern Z. Daarvan ligt 40 ha binnen het plangebied. Aangenomen wordt dat de oriëntatiegraad van wandelrecreanten vanuit woonkern Z op het plangebied gelijk is aan $40/265 = 15\%$.



Figuur 2.1.2. Bepaling oriëntatiegraad op plangebied

In tabel 2.1.2 is als voorbeeld de normatieve recreatiedruk op een bepaald plangebied berekend voor de recreatie-activiteit zwemmen. Aangenomen is dat 4 woonkernen (A t/m D) binnen of op minder dan 10 km afstand van het plangebied zijn gelegen en dat er in 4 objecten kan worden gezwommen (1 t/m 4).

Tabel 2.1.2. Voorbeeld berekening normatieve recreatiedruk

Woon- kern	Aantal inwoners	Deel- nemings- percentage zwemmers	Aantal recreanten	Capaciteit van aanbod van voorzieningen		Oriëntatie- graad = % totaal	Normatieve recreatie- druk
				in spre- dings- gebied	in plan- gebied		
A	10.000	10	1.000	3.000	1.500	50%	500
B	15.000	12	1.800	1.500	1.500	100%	1.800
C	40.000	12	4.800	4.500	1.500	33%	1.600
D	5.000	10	500	5.000	1.500	30%	150
totale normatieve recreatiedruk							4.050

2.1.3. Opstellen van prognose van recreatief gebruik

a. Bij autonome ontwikkeling

De mate waarin de situatie wat betreft het aanbod van recreatiemogelijkheden in en rondom het landinrichtingsgebied in de toekomst bij een autonome ontwikkeling zal verschillen van die in de actuele situatie, is bepalend voor de werkwijze die bij het opstellen van de prognose van het recreatief gebruik van het landinrichtingsgebied zal worden gehanteerd. Indien deze verschillen zeer groot zijn, zal gebruik moeten worden gemaakt van ingewikkelde modelberekeningen. Op deze berekeningen wordt hier niet ingegaan omdat dit een onderzoek vergt dat normaliter bij de voorbereiding wordt uitbesteed aan derden.

In de meeste gevallen zal kunnen worden volstaan met een berekening op basis van het huidige recreatief gebruik waarbij expliciet wordt aangegeven welke factoren bij de prognose zijn betrokken en welke invloed daarvan zal uitgaan op het recreatief gebruik in de toekomst. Een dergelijke berekening resulteert in het in tabel 2.1.3 gegeven overzicht van een denkbeeldige situatie.

Tabel 2.1.3. Overzicht berekende prognose van recreatief gebruik voor een denkbeeldige situatie

Recreatie- vorm	Huidig recreatief gebruik	Toe-/afname van recreatief gebruik					Totale toe-/ afname	Prognose van recreatief gebruik
		inwoners aantal	recreatiegedrag		aanleg. recr.mog.			
			partici- patie	mobilititeit	buiten plan- gebied	binnen plan- gebied		
wandelen	400	+5%	+10%	0%	-10%	+ 5%	+10%	440
fietsen	800	+6%	+10%	- 5%	-15%	+10%	+ 6%	850
vissen	500	+5%	+ 5%	+ 5%	-10%	+ 5%	+10%	550

b. Bij plansituatie

Bij het opstellen van een prognose van het recreatief gebruik in de plansituatie mag als regel worden gehanteerd dat het aantal recreanten dat in het plangebied na realisatie van het plan (alternatief) recreëert (V_{VP}) wordt bepaald door:

- het aantal recreanten dat in het plangebied komt bij de autonome ontwikkeling (V_{AO});
- de mate waarin de realisering van het plan leidt tot verruiming van de recreatiemogelijkheden in het plangebied

$$\left(\frac{\Delta Cap_{plan}}{Cap_{AO}} \right)$$

- de mate waarin de realisering van het plan leidt tot verruiming van het aanbod van voorzieningen in het spreidingsgebied

$$\left(\frac{\Delta Cap_{\text{plan}}}{Cap_{\text{AO}}} \right)$$

- de mate waarin de verruiming van het aanbod van voorzieningen leidt tot een verhoging van de participatie van de bevolking aan de bijbehorende recreatie-activiteiten (aanbodselasticiteit van de vraag $\gamma = 0,5$).

Het aantal recreanten in de toekomstige situatie is te bepalen volgens de vergelijking (*Van Alderwegen*, 1982):

$$V_{\text{VP}} = \left(1 + \frac{\Delta Cap_{\text{plan}}}{Cap_{\text{tot}}} \right)^{\gamma-1} \cdot \left(1 + \frac{\Delta Cap_{\text{plan}}}{Cap_{\text{AP}}} \right) \cdot V_{\text{AO}}$$

2.1.4 Bepaling van capaciteit van recreatievoorzieningen

Bij de bepaling van het aanbod van recreatiemogelijkheden gaat het in de eerste plaats om de vaststelling van het aantal recreanten dat gebruik van het landinrichtingsgebied kan maken, gezien de hoedanigheid van de aanwezige mogelijkheden en de functies die hieraan worden toegekend.

Vanuit verschillende invalshoeken kunnen grenzen worden gesteld ten aanzien van de gebruiksintensiteit van een recreatievoorziening. Deze grenzen komen onder meer voort uit de functies die de voorziening vervult. Bij het recreatie-deeladvies gaat het om een benadering vanuit de recreatieve functie en kan de beschouwing beperkt blijven tot het vaststellen van de toelaatbaar geachte gebruiksintensiteit door recreanten in het gebied, gezien vanuit de recreatieve beheersdoelstelling (sociale capaciteit).

De sociale capaciteit kan slechts normatief worden bepaald, waarbij de capaciteitsnormen worden vastgesteld door de bevoegde beleidsinstanties op basis van meningen en voorkeuren van die groep betrokkenen waarvoor de voorzieningen zijn bedoeld. De sociale capaciteit van een voorziening wordt uitgedrukt in het toelaatbaar geachte aantal recreanten per dag en wordt gevonden door de norm per eenheid van voorziening te relateren aan de totale hoeveelheid en gesteldheid van voorzieningen. Voor de te volgen werkwijze c.q. methode wordt verwezen naar *Van Alderwegen* (1980 en 1981). Hier worden alleen de marges gegeven waarbinnen de capaciteitsnormen moeten blijven bij de planvorming van landinrichtingsprojecten. De keuze binnen deze marges wordt overgelaten aan degenen die het plangebied en de gesteldheid en functie van de daarin gelegen voorzieningen kennen. In 2.1.4 tabel is hiervan een overzicht gegeven.

Voor de capaciteitsbepaling van zwembaden en strandbaden wordt verwezen naar respectievelijk *Bakker* (1979) en *De Koning e.a.* (1975).

Tabel 2.1.4. Marges voor capaciteitsnormen van recreatievoorzieningen aan te houden bij de capaciteitsbepaling in landinrichtingsprojecten, uitgedrukt in personen/dag/eenheid (*Van Alderwegen, 1982*)

Voorziening	Eenheid	Activiteit	Aan te houden capaciteits normen indien gelegen in:			
			agrarisch gebied	bos	natuurgebied	standsrand-zone
wandelpad	km	wandelen	50 -100	20 -50	0 -20	100 -200
fietspad aanliggend	,,	fietsen	15 - 40	7 -15	0 - 8	30 - 75
		wandelen	10 - 20	5 -10	0 - 5	20 - 40
fietspad vrijliggend	,,	fietsen	25 - 50	10 -20	0 -10	50 -100
		wandelen	10 - 25	7 -15	0 - 5	25 - 50
ruiterpad	,,	paardrijden	10 - 25	15 -30	0 - 8	25 - 50
semi-verharde weg	,,	wandelen	10 - 25	7 -15	0 - 5	25 - 50
		fietsen	10 - 25	5 -10	0 - 5	25 - 50
verharde weg	,,	toeren	25 - 75	10 -30	0 - 5	50 -150
< 3,50 m						
verharde weg	,,	toeren	50 -150	20 -60	0 -10	100 -300
3,50-4,50 m						
waterloop	,,	sportvissen	10 - 30	-	0 -10	30 - 60
> 6 m breed	,,	kanoën-roeien	10 - 25	-	0 - 5	20 - 50
		zeilen-varen*	*	*	*	*
meer/plas	ha	sportvissen	2 - 5	1 - 2	0	5 - 10
		kanoën-roeien	5 - 10	2 - 4	0	10 - 20
		zeilen-varen*	*	*	*	*

* De capaciteit van een gebied voor zeilen en varen wordt enerzijds bepaald door de capaciteit van jachthavens, anderzijds door de gesteldheid van het wateroppervlak; hiervan zijn geen algemeen geldende richtlijnen te geven.

2.1.5. Literatuur

Alderwegen, H.A. van, 1979.

Toepassing van een spreidingsmodel voor prognose van het aantal dagrecreanten in Midden-Delfland. Recreatievoorzieningen 11(3): p. 122-126.

Alderwegen, H.A. van, 1980.

Normen voor de sociale capaciteit van recreatievoorzieningen Discussie en onderzoeksvorstellen. Recreatievoorzieningen 12(11): p. 538-541. Ook Verspr. Overdr. 218. Instit. voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Wageningen.

Alderwegen, H.A. van, 1981.

Capaciteiten van wegen en paden voor recreatief fietsen. Nota 1320. Instit. voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Wageningen.

Alderwegen, H.A. van 1982.

Planning van openluchtrecreatievoorzieningen bij voorbereiding van landinrichtingsprojecten. Rp. nr. 4 Instit. voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Wageningen.

Alderwegen, H.A. van, B. Steinmetz en A.T. de Groot, 1978.

Rekenschema voor bepaling huidige vraag naar visplaatsen in een regio. Recreatievoorzieningen 10(2): p. 60-63. Ook Verspr. Overdr. 207. Instit. voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Wageningen.

Bakker, J.G., 1979.

Bepaling opnamecapaciteit van openluchtwembaden. Recreatievoorzieningen 10(7): p. 359-362. Ook Verspr. Overdr. 218. Instit. voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Wageningen.

Cultuurtechnische Vereniging, 1972.

Technische Aspecten Openlucht-recreatie.

Koning, H.S. de, D.W. Scholte Ubing, 1975.

Strandbaden: WIRO-rapport nr. 1 (Herziene Uitgave).

Ministerie van Cultuur, Recreatie en Maatschappelijk Werk.

Studierapport behoefteraming op het gebied van de openlucht recreatie. Staatsuitgeverij, 's-Gravenhage.

3. Natuurtechniek

3.1. Inleiding

De navolgende bijdrage is ontleend aan het rapport "Natuurtechniek van-morgen", opgesteld door de Werkgroep Natuurtechniek (*Werkgroep Natuurtechniek*, 1985). Deze werkgroep werd in 1979 ingesteld door de besturen van de Sectie voor Cultuurtechniek van het Koninklijk Instituut voor Ingenieurs en van de Studiekring voor Cultuurtechniek van het Koninklijk Genootschap voor Landbouwwetenschap. Het motief voor het instellen van de werkgroep was de behoefte aan een algemene oriëntatie op het onderwerp natuurtechniek en op de toepassing ervan in de praktijk. Met name de gesignaleerde begripsverwarring tussen de diverse bij natuurtechniek betrokken disciplines (ecologen, cultuurtechnici, beleids mensen en anderen) speelde hierbij een belangrijke rol.

Uit genoemd rapport werd in de eerste plaats het hoofdstuk "Begrippen en definities" overgenomen. Op grond van bestudering van de bij de diverse disciplines in gebruik zijnde begrippenkaders, c.q. van de mate waarin deze elkaar overlappen, komt de werkgroep tot formulering van onderling eenduidig afgegrensde begrippen en definities. Deze zijn naar verwachting dan ook voor alle betrokkenen begrijpelijk en hanteerbaar. Aanbevolen wordt om voortaan het gepresenteerde begrippenkader te gebruiken teneinde mensen die het onderwerp "Natuurtechniek" soms uit heel verschillende invalshoeken benaderen met vrucht rond dit thema te laten samenwerken.

Een volgend hoofdstuk behandelt de "Ecologische achtergronden van de natuurtechniek". De belangrijkste principes komen aan de orde. Literatuurverwijzingen geven suggesties voor nadere studie aan.

Het hoofdstuk "Planningsaspecten van de natuurtechniek" gaat in op het belang van een goed gestructureerd planningsproces. Ten slotte wordt een aantal praktijkvoorbeelden behandeld in het hoofdstuk "Natuurbouw in de praktijk: uitgangspunten en uitvoering".

Het is de Werkgroep Natuurtechniek niet mogelijk gebleken een gedetailleerde handleiding met universeel toe te passen richtlijnen op te stellen. Goed beschouwd is dit ook niet zo wenselijk. Toepassing van natuurtechniek heeft immers als één der belangrijkste doelen het verhogen van de diversiteit aan natuurwaarden die kenmerkend genoemd kunnen worden voor een bepaald gebied. Mede in aanmerking genomen de verschillen in de specifieke uitgangssituatie tussen de gebieden onderling zou het overal toepassen van dezelfde set richtlijnen wel eens eerder kunnen leiden tot een zekere nivellering dan tot een verrijking aan natuurwaarden. Steeds zal moeten worden bezien op welke wijze algemene principes het beste kunnen worden uitgewerkt tot concrete planmaatregelen.

3.2. Begrippen en definities

Toen de Werkgroep Natuurtechniek, in het navolgende aangeduid als "de werkgroep", met haar werkzaamheden begon, stuitte zij op het grote aantal begrippen en definities dat binnen het vakgebied natuurtechniek in gebruik is. Zij heeft in eerste instantie haar aandacht hierop gevestigd. Het stond de werkgroep daarbij voor ogen om:

- de verschillen in uitgangspunten en gedachtengangen van de disciplines die op dit vakgebied werkzaam zijn, op te sporen;
- de inhoud en de begrenzing van de vele verschillende begrippen te "ijken" aan de bestaande definities;
- eventueel voorstellen te doen voor de formulering van (nieuwe) begrippen.

In deel 1 van het verslag van de werkgroep is hierover uitgebreid gerapporteerd (*Werkgroep Natuurtechniek*, 1981). Daarom wordt hier volstaan met een korte beschrijving van het daarin door de werkgroep voorgestelde begrippenkader (tabel 3.2.1). Bij het opstellen ervan is gestreefd naar een formulering van begrippen en definities die:

- voor alle betrokkenen begrijpelijk en hanteerbaar is;
- een zo duidelijk mogelijke begrenzing van de inhoud van die begrippen geeft.

Naast een toelichting op dit begrippenkader zal in dit hoofdstuk nog een aantal andere begrippen dat in deel 1 van het verslag van de werkgroep niet aan bod is gekomen, worden besproken.

Natuurtechniek is gedefinieerd als: "het complex van doelbewuste handelingen gericht op het scheppen, herstellen, ontwikkelen of handhaven van de levensvoorwaarden van de inheemse flora, fauna en levensgemeenschappen in hun onderlinge samenhang".

Op grond van het doel van de handelingen meent de werkgroep binnen de natuurtechniek drie groepen activiteiten te kunnen onderscheiden. Deze kunnen elkaar gefaseerd in de tijd opvolgen. Ze zijn respectievelijk vervat in de begrippen natuurbouw, ontwikkelingsbeheer en natuurbeheer. De eerste twee zijn gezamenlijk als synoniem te beschouwen van het begrip natuurtechnische milieubouw, de derde als synoniem van natuurtechnisch milieubeheer (tabel 3.2.1). De begrippen natuurtechnische milieubouw en natuurtechnisch milieubeheer zijn afkomstig uit het begrippenkader van ecologen en natuurbeheerders.

Natuurbouw omvat die activiteiten van de mens die gericht zijn op het inrichten van terreinen en wel op een zodanige wijze, dat nieuwe uitgangssituaties worden geschapen voor de ontwikkeling van ter plaatse gewenste levensgemeenschappen. Zo'n nieuwe uitgangssituatie komt tot stand door over het algemeen zeer ingrijpende maatregelen in de abiotische (= niet levende) componenten van het milieu. Ingrijpende waterhuishoudkundige maatregelen zijn hiervan een voorbeeld. Het afgraven van een nutriëntenrijke bouwvoor tot op het moedermateriaal, waardoor onder de meeste omstandigheden een oligotroof (= voedselarm) uitgangssubstraat wordt verkregen, is een ander voorbeeld. Maar ook kunnen de maatregelen bestaan uit ingrepen in de biotische (= levende) milieucomponen-

ten, zoals het aanplanten van bomen en de introductie van diersoorten. Bij het laatste kan bijvoorbeeld gedacht worden aan het uitzetten van bevers in de Biesbosch (*Boere en Van der Ouderaa* (red.), 1983).

Tabel 3.2.1. Schematische indeling natuurtechniek (*Werkgroep Natuurtechniek*, 1981).

NATUURTECHNIEK		
Definitie: complex van doelbewuste handelingen, gericht op het scheppen, herstellen, ontwikkelen of handhaven van de levensvoorwaarden van de inheemse flora, fauna en levensgemeenschappen in hun onderlinge samenhang.		
NATUURTECHNISCHE MILIEUBOUW	NATUURTECHNISCH MILIEUBEHEER	
NATUURBOUW	ONTWIKKELINGSBEHEER	NATUURBEHEER
Activiteiten van de mens gericht op het scheppen van een nieuwe uitgangssituatie ten bate van gewenste te ontwikkelen levensgemeenschappen (van een zo hoog mogelijk niveau van natuurlijkheid)	Activiteiten van de mens gericht op het meer ingrijpend herstellen of ontwikkelen van gewenste levensgemeenschappen (van een veelal lager naar een hoger niveau van natuurlijkheid)	Activiteiten van de mens gericht op het geleidelijk herstellen, versterken of handhaven van bestaande levensgemeenschappen (op het gewenste (hoge) niveau van natuurlijkheid)
De maatregelen zijn meestal (zeer) ingrijpend en hebben een eenmalig of incidenteel karakter	In de intensiteit van de maatregelen vindt een meer of minder geleidelijke (continue of stapsgewijze) afname plaats	Zo veel mogelijk constantie in de aard en intensiteit van de maatregelen
De maatregelen betreffen veelal de abiotische component (uitgraven, reliëfvorming, verwijderen cultuurlaag, instellen bepaalde waterhuishouding) en soms de biotische component (aanplant, uitzaaien)	De maatregelen kunnen alle bekende vormen van inwendig en uitwendig beheer betreffen, zowel ten aanzien van de abiotische als de biotische component	De maatregelen kunnen alle bekende vormen van inwendig en uitwendig beheer betreffen, zowel ten aanzien van de abiotische als de biotische component, doch met accent op de biotische component.
Relatief hoog niveau van antropogene dynamiek	Lager niveau van antropogene dynamiek	Het niveau van antropogene dynamiek is het laagst of afwezig, afhankelijk van het type ecotoop
Laag niveau van natuurlijkheid (volledigheid)	Hoger niveau van natuurlijkheid (volledigheid)	Veelal hoogste niveau van natuurlijkheid (volledigheid), afhankelijk van het type ecotoop.
Definitie: Complex van doelbewuste handelingen, gericht op het scheppen van levensvoorwaarden voor de gewenste inheemse flora, fauna en levensgemeenschappen	Definitie: Complex van doelbewuste handelingen, gericht op het meer ingrijpend herstellen of ontwikkelen van levensvoorwaarden van de inheemse flora, fauna en levensgemeenschappen naar het gewenste (hoge) niveau van natuurlijkheid	Definitie: Complex van doelbewuste handelingen, gericht op het geleidelijk herstellen, versterken of handhaven van de levensvoorwaarden van de inheemse flora, fauna en levensgemeenschappen op het gewenste (hoge) niveau van natuurlijkheid

Na de natuurbouwactiviteiten zal zich in de meeste gevallen een pionier-levensgemeenschap vestigen, die kenmerkend is voor het ter plekke gestoorde milieu. Na verloop van tijd zal dit zich stabiliseren; de gewenste levensgemeenschap kan zich gaan ontwikkelen (zie hfdst. IV. 3.3). Deze ontwikkeling kan vele jaren vergen. In het beginstadium van deze ontwikkeling kan het nodig zijn dat de mens vrij krachtig ingrijpt. Dit is echter niet altijd noodzakelijk.

De ingrijpende maatregelen die gericht zijn op het sturen en geleiden van de gewenste ontwikkelingen, behoren tot het *ontwikkelingsbeheer*. Het gaat dan vooral om ingrepen in de biotische componenten van het ecosysteem (= levensgemeenschap met haar omgeving, zie hfdst. IV. 3.3). Een voorbeeld van dit soort ingrepen is het gedurende enkele jaren, op bepaalde tijdstippen, maaien van de vegetatie gecombineerd met het afvoeren van het maaisel, om zodoende bepaalde plantesoorten in hun ontwikkeling te stimuleren of andere soorten juist af te remmen. Indien nodig, wordt in deze fase ook nog wel in het abiotische milieu "sturend" ingegrepen, bijvoorbeeld door het bijstellen van het oppervlaktewaterpeil. In de loop van de jaren zullen de sturende en geleidende ingrepen in intensiteit af kunnen nemen. Het ontwikkelingsbeheer gaat dan geleidelijk over in natuurbeheer.

In het bovenstaande is sprake van ontwikkelingsbeheer volgend op natuurbouwmaatregelen. Het begrip ontwikkelingsbeheer is volgens de werkgroep tevens van toepassing op de relatief ingrijpende maatregelen die noodzakelijk zijn voor het herstel van een bestaand ecosysteem. De ingrepen die in dat geval niet vooraf worden gedaan door natuurbouw, vertonen zowel naar aard als intensiteit veel overeenkomst met die welke hierboven beschreven zijn. Dit geldt ook voor de ontwikkeling van de levensgemeenschappen.

Voorbeeld.

In een sterk verland ven dreigt de aquatische levensgemeenschap te verdwijnen; de successie (= opeenvolging van levensgemeenschappen) is te ver voortgeschreden. Door uitdroging kan dan ook nog de ondoorlatende laag, de bodem van het ven, op een aantal plaatsen gescheurd zijn. De herstelmaatregelen zullen in dit geval bestaan uit het uitbaggeren van het ven en het aanbrengen van een nieuwe ondoorlatende laag. Herstel of hervestiging van de oorspronkelijke levensgemeenschap wordt hierdoor mogelijk.

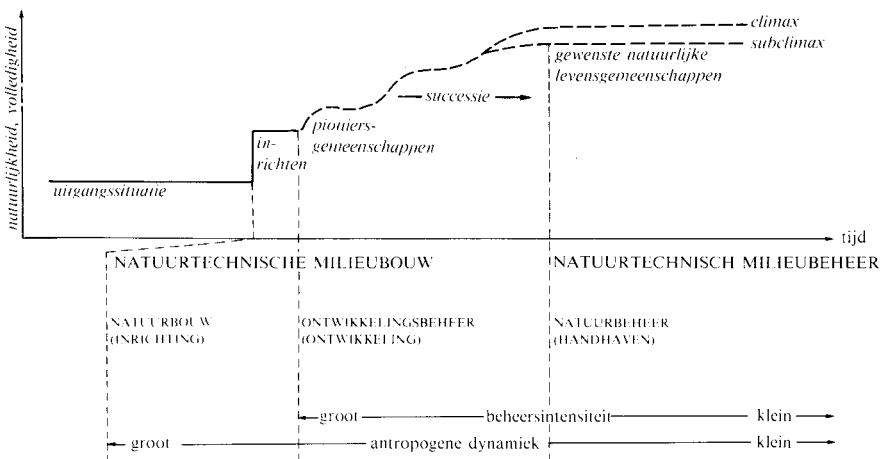
De activiteiten van de mens die zijn begrepen in het begrip ontwikkelingsbeheer, vormen als het ware een tussenvorm, een overgang, van inrichten (natuurbouw) naar handhaven (natuurbeheer). Het ontwikkelingsbeheer gaat daarbij geleidelijk over in *natuurbeheer*. Bij het natuurbeheer zijn de ingrepen van de mens vooral gericht op het handhaven van de ter plaatse aanwezige levensgemeenschap. De ingrepen zijn vrijwel uitsluitend gericht op de biotische componenten. Er is nauwelijks meer sprake van sturende en geleidende ingrepen. Het gaat om de consolidatie of om een eventueel nog voortgaande, graduele verbetering van de bestaande en gewenste toestand. De natuurbeheersmaatregelen kunnen bijvoorbeeld bestaan uit het jaarlijks maaien van een grazige vegetatie, waarna het maaisel wordt afgevoerd. Wordt zo'n vegetatie niet op deze wijze beheerd, dan kan daar bosvorming optreden (zie ook hfdst. IV. 3.3).

Een andere vorm van beheer in zo'n situatie kan begrazing zijn.

In tabel 3.2.1 wordt de term natuurlijkheid gebruikt. Een korte toelichting op dit begrip is hier op z'n plaats.

Bij het inrichten, het ontwikkelen en het beheren van terreinen en de daar voorkomende levensgemeenschappen heeft men te maken met veranderingen in de soortensamenstelling van flora en fauna. Die veranderingen zijn een uiting van natuurlijke processen, maar ze hangen ook nauw samen met de aard en de mate van de natuurtechnische - dus menselijke - ingrepen (antropogene dynamiek). De mens is met andere woorden voor de totstandkoming van de gewenste levensgemeenschap een belangrijke, volgens sommigen een niet-natuurlijke variabele. Volgens hen wordt de term natuurlijkheid in tabel 3.2.1 dan ook niet op de juiste wijze gehanteerd. Er kan volgens hen beter gesproken worden van bijvoorbeeld onnatuurlijkheid of kunstmatigheid of cultuurlijkheid. De voorkeur voor de ene of de andere term hangt nauw samen met de vraag wat "natuur" is en met de visie die men heeft op de relatie mens-natuur. Ook binnen de werkgroep waren (en zijn nog steeds) deze verschillende benaderingswijzen vertegenwoordigd. Na een uitgebreide discussie heeft de meerderheid in de werkgroep zich uitgesproken voor het hantieren van de term natuurlijkheid. In dit kader moet dat worden opgevat als synoniem van volledigheid. De werkgroep heeft zich bij deze keuze laten leiden door pragmatische overwegingen.

Met het niveau van natuurlijkheid wordt de mate van volledigheid bedoeld in termen van aanwezige soortenrijkdom van het ecosysteem in relatie tot de soortenrijkdom van het op diezelfde plaats gewenste en potentieel ook realiseerbare ecosysteem. Wanneer een bepaald ecotoop, bijvoorbeeld een vochtig hooiland, een zo volledig mogelijke levensgemeenschap herbergt - dat wil zeggen met zoveel mogelijk voor dat hooiland karakteristieke planten- en diersoorten - dan heeft het een voor dat type ecotoop hoogste niveau van natuurlijkheid. Dit wordt meestal verkregen door een daarmee samengaand laag niveau van antropogene invloed. Bovenstaande gedachtengang is schematisch uitgewerkt in figuur 3.2.1.



Figuur 3.2.1. *Mate van natuurlijkheid, volledigheid in relatie tot natuurtechnische (= menselijke) ingrepen. (Werkgroep Natuurtechniek, 1981).*

Er moet nog worden opgemerkt, dat de begrippen uit het begrippenkader van de werkgroep gehanteerd moeten worden binnen één schaalniveau en in onderling vergelijkbare situaties, dus binnen vergelijkbare ecotopen (bijvoorbeeld een houtwal of een sloot), landschapstypen of complexe ecosystemen. Het is niet de bedoeling en ook niet reëel om de mate van volledigheid van bijvoorbeeld een monotoon dennenbos te vergelijken met die van een aldaar te realiseren droge heide.

Bij de verdere werkzaamheden van de werkgroep bleek het zinvol om een onderscheid te maken in *primaire* en *secundaire* natuurbouw. Primair is die natuurbouw, waarbij het inrichten van een terrein uitsluitend gericht is op het scheppen van de levensvoorwaarden van gewenste levensgemeenschappen. Bij secundaire natuurbouw worden de natuurtechnische maatregelen getroffen in het kader van werkzaamheden die op zich een ander doel hebben. Zo kan het doel van het (ver)graven van een waterloop zijn het verkleinen van het waterbezwaar in een gebied. De vormgeving van de waterloop - zoals de helling van het onderwatertalud en/of van de oever - kan bij het (ver)graven evenwel tevens worden afgestemd op bijvoorbeeld de ontwikkeling van een rietkraag door de aanleg van een plasberm. Ook bij de inrichting van terreinen, met bijvoorbeeld recreatie als hoofdfunctie doet zich nogal eens de mogelijkheid en de wens voor om delen ervan als natuurgebied in te richten.

De genoemde activiteiten of behoeften die aanleiding zijn tot de secundaire natuurbouw, kunnen de potentiële natuurbouwmogelijkheden sterk beperken. Niet alle typen objecten zijn dan ter plekke realiseerbaar, terwijl soms ook grenzen worden gesteld aan de potentieel haalbare ontwikkelingsgraad ervan. Die extra beperkende randvoorwaarden kunnen van technische, ruimtelijke, financiële of procedurele aard zijn.

Uit het bovenstaande blijkt dat het onderscheid tussen primaire en secundaire natuurbouw niet een principieel onderscheid is. In feite is het een graduëel onderscheid, dat op pragmatische gronden is gemaakt.

Bij haar inventarisaties is de werkgroep geconfronteerd met vele gebieden waar de natuur zich op spontane wijze heeft kunnen ontwikkelen. Soms gaat het om ontwikkelingen die een direct, maar onbedoeld, gevolg zijn van menselijke ingrepen uit vroeger jaren, zoals in geval van de ondiepe tichelgaten (ontkleiingen) in de uiterwaarden. Van recentere datum zijn de opgespoten zandstranden langs de IJsselmeerpolders (*Proost e.a.*, 1983). Soms ook gaat het om ontwikkelingen, waarbij de mens alleen als indirecte "veroorzaker" is aan te wijzen, zoals bij zandverstuivingen die het gevolg zijn van grondwaterstands dalingen. Deze voorbeelden hebben met elkaar gemeen, dat zich daar waardevolle ecosystemen hebben kunnen ontwikkelen. Hoewel deze voorbeelden niet als natuurbouwvoorbeelden betiteld kunnen worden, omdat er in de definitie van natuurbouw sprake is van doelbewuste handelingen, heeft de werkgroep deze gevallen toch in haar inventarisaties meegenomen. Het is een bron van informatie, die voor de natuurtechniek stellig van betekenis is. Besloten is in dit soort gevallen te spreken van *onbewuste natuurbouw*.

In het Structuurschema Natuur- en Landschapsbehoud wordt de term "natuurontwikkeling" gehanteerd. Die term is in deel 1 van het verslag van de werkgroep niet aan bod

gekomen. Met "natuurontwikkeling" wordt een strategie (dat wil zeggen een oplossingsrichting) aangeduid, die gebruik maakt van natuurlijke processen om te komen tot volledige ecosystemen met een hoge graad van zelfregulatie. Voor de totstandkoming van deze systemen kan natuurbouw (bewust of onbewust) en ontwikkelingsbeheer van grote betekenis zijn. De term "natuurontwikkeling" is in het structuurschema vrij ruim gehanteerd en is zowel van toepassing op de ecosystemen die sterk door de menselijke invloed worden bepaald als op de meer halfnatuurlijke ecosystemen. Ook omvorming van bestaande, kunstmatige ecosystemen door middel van een beheer dat hierop gericht is, valt onder "natuurontwikkeling".

De werkgroep heeft zich volgens haar opdracht beperkt tot natuurbouw en ontwikkelingsbeheer. In dit verslag wordt dus weinig aandacht besteed aan het natuurbeheer. Daarvoor wordt verwezen naar publikaties van onder andere het *Rijksinstituut voor Natuurbeheer* (1979 en 1983).

3.3. Ecologische achtergronden van de natuurtechniek

3.3.1. Algemeen

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de (landschaps-)ecologische achtergronden van de natuurtechniek. Deze worden op zodanige wijze behandeld dat zo veel mogelijk aansluiting wordt gezocht bij vragen die binnen de natuurtechniek aan de orde komen. Zo zal de belangrijke vraag gesteld moeten worden op welk type ecosystemen de toepassing van de natuurtechniek gericht is. Moet er gestreefd worden naar het behoud en het herstel van streekeigen - cultuurhistorisch bepaalde - levensgemeenschappen of zal er meer nadruk gelegd moeten worden op de ontwikkeling van nieuwe natuurwaarden? Om deze keuze enigszins verantwoord te kunnen maken, is algemeen inzicht nodig in de opbouw, in het functioneren en in de ontwikkeling van een ecosysteem of levensgemeenschap. Met name bij inrichtingsvraagstukken zal informatie beschikbaar moeten zijn over de (functionele) plaats van de gewenste levensgemeenschappen in het landschap. Bovendien is kennis vereist over de mogelijkheden en over de beperkingen van de inrichtings- en beheersmaatregelen die toegepast kunnen worden.

Allereerst zal in par. IV. 3.3.2 kort worden ingegaan op de opbouw en het functioneren van het landschap als ecosysteem. In par. IV. 3.3.3 zal op algemene wijze worden ingegaan op het verband tussen vegetatieontwikkeling en beheer. Het belang van een goede plaatskeuze en van de daarbij behorende inrichtingsmaatregelen komt tot uiting in de paragrafen IV. 3.3.4 en IV. 3.3.5. Hierin worden respectievelijk de betekenis van de waterhuishouding voor de vegetatieontwikkeling en het verband tussen landschapsstructuur en fauna behandeld.

3.3.2. Het landschap als ecosysteem

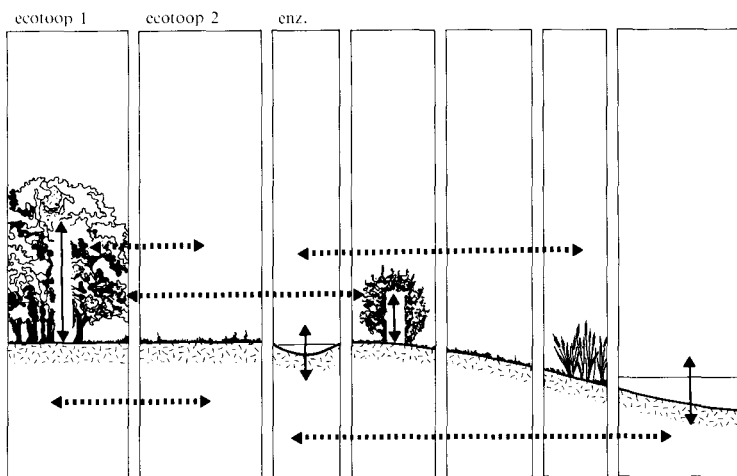
Het Nederlandse landschap is de laatste vijf tot tien eeuwen sterk door de mens bepaald. Onder invloed van veranderingen in het denken van de mensen, in de bevolkingsgrootte, in de toegepaste (landbouw)technieken enz., veranderde dit landschap door de tijden heen. Het landschap heeft een dynamisch karakter.

In de landschapsecologie tracht men inzicht te krijgen in de opbouw van het landschap en in de betrekkingen tussen de onderdelen van dat landschap en in de veranderingen die daarin plaatsvinden.

Dit kunnen veranderingen in de ruimte en in de tijd betreffen.

Figuur 3.3.1 geeft schematisch de opbouw van het landschap weer. Daarbij worden in het landschap eenheden met zo groot mogelijke ruimtelijke homogeniteit - ecotopen - onderscheiden; bijvoorbeeld een houtwal of een sloot. Deze ecotopen zijn gekarakteriseerd door een bepaalde combinatie van abiotische (grondsoort, reliëf, waterhuishouding, bodem) en biotische (vegetatie, fauna) componenten. Binnen een ecotoop wordt vooral aandacht gegeven aan de verticale of topologische relaties. Het landschap is zo opgebouwd te zien uit een aaneenschakeling van vele ecotopen, elk gekenmerkt door een specifiek samenspel van de levende - en niet levende - componenten.

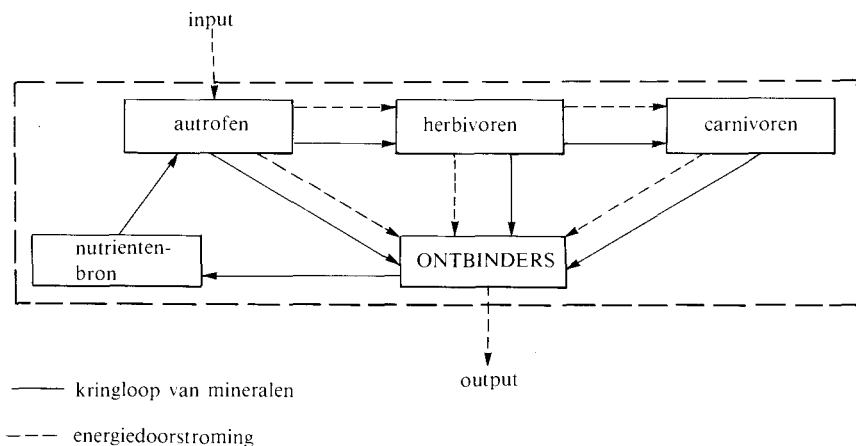
In het landschap worden ook horizontale of chorologische relaties onderscheiden. Zij dragen de samenhang die er bestaat tussen de verschillende ecotopen. Hierbij kan worden gedacht aan relaties die door grondwaterstroming, dieren, enz. worden onderhouden. Een bundeling van ecotopen via de horizontale relaties wordt aangeduid met de term *echochoor*. Een *echochoor* is een complex van meestal verschillende ecotopen, dat als een ruimtelijk functionele, samenhangende eenheid in het landschap is te onderscheiden, bijvoorbeeld een beekdal, of een moerasgebied met legakkers en petgaten.



Figuur 3.3.1. Het ecosysteem van het landschap, zoals dat is opgebouwd uit meerdere ecotopen, waarbinnen en waartussen velerlei relaties bestaan. (Rijksinstituut voor Natuurbeheer, afd. Landschapsecologie).

Een dergelijke schematische benadering van het landschap kan verhelderend werken. Het blijft echter een sterke simplificatie van de uiterst complexe relatiestelsels die tussen organismen onderling en hun abiotische omgeving bestaan.

In dit verband wordt wel gesproken van het landschap als een ecosysteem, wat kan worden beschreven als: "een systeem, samengesteld uit fysische, chemische en biologische processen werkzaam in ruimte en tijd" (Lindeman, 1942). Bij de analyse van deze processen wordt in het bijzonder aandacht gegeven aan de kringlopen van materie en op de doorstroming van energie (figuur 3.3.2) binnen het systeem (Odum, 1971).



Figuur 3.3.2. Afbakening van het ecosysteemconcept, met inbegrip van de kringlopen van materie en de doorstroming van energie. (Kormondy in Bennett en Chorley, 1978).

Door Nijs (1982) worden deze en andere belangrijke eigenschappen van ecosystemen op een anschouwelijke wijze besproken. In het kader van dit rapport is van belang dat:

- in een ecosysteem gedurende een kortere of langere tijdsperiode bepaalde soorten aan- of afwezig zijn;
- soorten een eigen standplaats in dit ecosysteem opzoeken en een specifieke functie uitoefenen;
- verschillende soorten samen in een kenmerkend verband voorkomen.

Bij een ecologische studie behoren deze algemene eigenschappen te worden onderkend; er zal met een veelvoud van factoren, zowel abiotische als biotische, rekening moeten worden gehouden. Hierover zullen slechts enkele opmerkingen worden gemaakt. Wat betreft de aan- of de afwezigheid van bepaalde soorten met betrekking tot abiotische factoren geldt de Tolerantiewet van Shelford (Shelford, 1913). Deze wet geeft aan dat elke plant- en diersoort voor elke abiotische factor (zowel chemisch als fysisch) een zekere tolerantiebreedte bezit waarbinnen zij zich kan handhaven. Buiten de boven- en ondergrens is de factor dodelijk. Ook al vallen de andere factoren nog zo gunstig uit, toch zal die ene factor beperkend zijn. Voorbeelden van dergelijke abiotische factoren zijn: temperatuur,

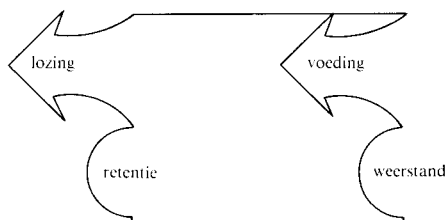
licht, wind, zoutgehalte, zuurstofconcentratie, pH. Naast abiotische factoren wordt een organisme, een populatie van organismen of - meer algemeen - een soort ook beïnvloed door wisselwerkingen tussen organismen van andere soorten (zgn. interspecifieke interacties) en door wisselwerkingen tussen organismen van dezelfde soort (zgn. intraspecifieke interacties). Voorbeelden van interspecifieke interacties zijn: competitie, predatie. De intraspecifieke interacties kunnen zich bijvoorbeeld uiten in territoriumgedrag.

Wat b. betreft dient een drietal begrippen te worden vermeld. Het gaat allereerst om de termen habitat en niche. Met habitat wordt de plaats aangegeven waar een soort leeft, bijvoorbeeld een open dennenbos. De habitat van een soort kan nog het best vergeleken worden met het "adres" ofwel de plaats waar de soort in kwestie kan worden aangetroffen. De habitat is een typering van de fysieke ruimte waarin een soort voorkomt. Dit begrip is dus niet bedoeld om een verklaring voor dat voorkomen te geven. De functie die een soort uitoefent in het ecosysteem (bijvoorbeeld het begrazen van onderbegroeiing van dat dennenbos), wordt met de verzamelnaam niche aangegeven. Gemakshalve wordt het wel eens het "beroep" van de soort genoemd.

Zoals onder c reeds is aangegeven, komen populaties van verschillende soorten in een bepaald gebied vaak in een kenmerkend verband voor. Dit wordt met de term levensgemeenschap aangeduid. De plaats waar een levensgemeenschap voorkomt wordt de biotoop genoemd. De levensgemeenschappen kunnen nader worden omschreven aan de hand van aspecten zoals structuur, trofische structuur en soortendiversiteit.

In dit verband is het verhelderend te wijzen op de ecologische visie op het landschap, zoals die ontwikkeld is door *Van Leeuwen* (1979) en *Van Wirdum* (1979a). De ecotopen worden hierin gezien als een onderdeel van een groter geheel. De relaties binnen en tussen deze ecotopen in het landschap worden onderhouden via een aantal mechanismen, die de standplaatsfactoren binnen het systeem beïnvloeden. Zij onderscheiden er een viertal (figuur 3.3.3) die worden aangeduid met de trefwoorden:

- a. voeding;
- b. lozing;
- c. weerstand;
- d. retentie.



Figuur 3.3.3. De vier werkingen van een systeem in relatie tot zijn omgeving. (Gewijzigd naar: *Van Wirdum*, 1979a; zie ook *Schroevers (red.)*, 1982, p.14).

Bij de eerste twee bedoelde mechanismen spelen horizontale relaties met andere ecotopen een belangrijke rol. Met voeding wordt bedoeld dat de omgeving het ecotoop datgene moet leveren, waarvan het te weinig heeft. Met lozing wordt duidelijk gemaakt dat het ecotoop naar de omgeving moet kunnen afvoeren waarvan te veel aanwezig is. Ecotopen met alleen deze twee mechanismen hebben een duidelijk open karakter en zijn vrij weerloos tegen invloeden vanuit de omgeving. De levensgemeenschappen die in zo'n "open"

ecotoop voorkomen zijn hierop ingesteld en worden veerkrachtig genoemd. Ze hebben een eenvoudig karakter zonder ingewikkelde structuren. Over het algemeen wordt in zo'n ecotoop de vegetatiestructuur gekenmerkt door een grofkorrelig patroon en is de kringloop van nutriënten en de doorstroming van energie (vergelijk figuur 3.3.2) snel. Ook wordt wel gesteld dat de mate van ordening laag en de dynamiek hoog is. Ter illustratie kan gedacht worden aan buitendijkse rietlanden. Het ecotoop wordt in de conceptie van Van Leeuwen en Van Wirdum aanzienlijk minder gevoelig voor de omgeving, indien ook de twee andere mechanismen werkzaam zijn. Daardoor wordt regulatie en selectie van in- en uitgaande energie- en nutriëntenstromen mogelijk. Het weerstandsmechanisme richt zich op het tegenhouden van invloeden uit de omgeving. Het retentiemechanisme van een ecotoop zorgt ervoor dat het ecotoop zijn eigenschappen zo min mogelijk aan de omgeving "verliest". De stabilisering van milieufactoren die hierdoor binnen het systeem ontstaat, maakt ontwikkeling van meer complexe relaties binnen de levensgemeenschappen mogelijk. Hierdoor kunnen zich meer samengestelde structuren ontwikkelen. De mate van ordening is in dit geval hoog en de dynamiek laag. Als voorbeeld kan gedacht worden aan oude loofbossen.

Naar aanleiding van bovenstaande theoretische beschouwing kunnen ten behoeve van de natuurtechniek enkele algemene opmerkingen worden gemaakt.

- De kennis van de in het landschap aanwezige patronen en van de functionele samenhang hierin - in horizontale en verticale zin - is voor de natuurtechniek van groot belang. Bij de keuze van het type ecosysteem dat men wil behouden, herstellen of ontwikkelen en bij natuurbouw dient men uit te gaan van de aanwezige - en potentiële landschapseigenschappen en -relaties. Dit geldt ook voor de keuze van de plaats waar men de ontwikkeling van gewenste ecosystemen wil bevorderen.
- Bij de inrichting van natuurbouwobjecten kan men de mogelijke ontwikkeling al selecteren door verschillen - of juist overeenkomsten - aan te brengen in het abiotisch gedeelte van het milieu.
- In de natuurtechniek zal men er in het algemeen naar streven de milieufactoren zo te selecteren en te reguleren dat deze factoren zich zullen stabiliseren en er zich rijker gestructureerde ecosystemen kunnen ontwikkelen.

Enkele voorbeelden van praktische toepassingen van deze uitgangspunten zijn opgenomen in hfdst. IV. 3.5.

3.3.3. Successie en beheer

De veranderingen in een vegetatie of in een levensgemeenschap die zich in de loop van de tijd voordoen onder invloed van de in par. IV. 3.3.2 beschreven mechanismen, worden aangeduid met de term successie. Het verschijnsel successie kan gedeeltelijk worden verklaard vanuit het principe van aanpassing en concurrentie. De eigenschappen die een soort in elk stadium van de levenscyclus heeft, spelen hierbij een grote rol. Zo kunnen typische pionierplanten zich in dynamische milieus vestigen en handhaven als gevolg van hun grote zaadverspreiding, ondiepe beworteling enz., eventueel gevolgd door een vegetatieve vermeerdering. Zij wijzigen de milieumomstandigheden van hun standplaats zó -

het milieu wordt minder dynamisch - dat deze voor henzelf minder geschikt, maar voor andere soorten juist beter geschikt worden. Londo (1982) wijst op grond van onderzoek op het verband tussen patroon en proces. Hij constateert in zijn proeftuin, een natuur-bouwobject, dat er na verloop van jaren een fijnkorreliger patroon in de vegetatie ontstaat en dat het aantal soorten toeneemt. Het optreden van veel soorten blijkt een gevolg te zijn van veel variatie in het milieu. In het algemeen kan worden geconcludeerd dat het verloop van het stabilisatieproces gepaard gaat met het toenemen van de diversiteit. De successie zal doorgaan totdat het eindstadium, de climax, is bereikt. Deze climax kan worden beschouwd als de "steady state" die zonder de mens ontstaat onder invloed van de plaatselijke omstandigheden. Het eindstadium van de successie die in een plantengemeenschap na het wegvallen van de directe menselijke invloed te verwachten is, wordt de potentieel-natuurlijke vegetatie genoemd (Tuxen, 1956; Kalkhoven *e.a.*, 1976). De natuurlijke vegetatie wordt daarbij gedefinieerd als: de vegetatie die zich geheel spontaan ontwikkelt, onder invloed van het klimaat, het reliëf, de aard van de bodem en de waterhuishouding. Het begrip potentieel natuurlijke vegetatie is nog steeds aan discussie onderhevig, wat verband houdt met de menselijke invloed die meestal zeer lang in de vegetatie is weer te vinden.

Het is in dit kader zinvol te wijzen op het onderscheid dat wordt gemaakt tussen primaire en secundaire successie. Primaire successie duidt dan op het ontwikkelingsproces van levensgemeenschappen op nieuwe open terreinen waar voorheen geen vegetatie aanwezig was. Dit is bijvoorbeeld het geval in een duinsysteem dat in beweging is, of in geval van een natuurbouwobject, op pas aangebrachte grond. Met secundaire successie wordt het ontwikkelingsproces bedoeld op terreinen die voorheen wel een vegetatie droegen, die al dan niet door toedoen van de mens geheel of gedeeltelijk is verdwenen, bijvoorbeeld in geval van een bos door kaalkap of door windworp. Ook de successie die optreedt door het achterwege blijven van menselijke invloed wordt tot de secundaire successie gerekend, bijvoorbeeld bosvorming op voormalige landbouwgronden of heide.

In vele gevallen zal de successie evenwel op een bepaald stadium door toedoen van de mens of ook wel door dieren worden gestopt. Men spreekt dan respectievelijk van een antropogene subclimax en van een zoö-climax. De struikheidevegetatie die in onze streken op zandige bodem door toedoen van de mens (plaggen, branden van de heide, beweiden met schapen) is ontstaan, is een voorbeeld van een dergelijke antropogene subclimax. De duingraslanden die door de graasactiviteiten van konijnen in stand worden gehouden, kunnen worden gezien als een zoö-climax.

De kennis over het verband tussen bodem en vegetatie en over de successie in vegetaties heeft het mogelijk gemaakt om vegetatiereeksen aan de potentieel-natuurlijke vegetaties te verbinden. Onder een vegetatiereeks wordt dan verstaan: een verzameling van vegetatie-eenheden, die als ontwikkelings- of vervangingsgemeenschappen verbonden zijn aan dezelfde potentieel-natuurlijke vegetatie. De vegetaties, van een pionierstadium tot en met een eindstadium, die door een natuurlijke ontwikkeling (successie) met elkaar verbonden zijn, worden ontwikkelingsgemeenschappen genoemd en de serie zelf de ontwikkelingsreeks. Wanneer een stadium als gevolg van een bepaalde mate van menselijke beïnvloeding onderdrukt wordt, zal een andere gemeenschap die plaats innemen. Zij

wordt dan een vervangingsgemeenschap genoemd. Een serie opeenvolgende vervangingsgemeenschappen heet een vervangingsreeks. Zo is een blauwgrasland een vervangingsgemeenschap van het Elzenbroekbos. In *Kalkhoven e.a. (1976)* wordt een overzicht gegeven van Nederlandse vegetatiereeksen. In meerdere regionale studies is deze benadering verder uitgewerkt. Een duidelijk voorbeeld hiervan is te vinden in *Everts e.a. (1984)*. Hierin wordt een schematisch overzicht gegeven van de wijze waarop verschillende vegetaties, afhankelijk van de bodem en de waterhuishouding, als gevolg van verschraling in elkaar overgaan.

In het algemeen kan worden gesteld dat het beheer een belangrijke invloed heeft op het verloop van de successie. Door middel van het beheer is de successie te sturen naar een bepaalde vervangingsgemeenschap of climaxvegetatie. Zoals in hfdst. IV. 3.2 is aangegeven, is het beheer dat op verschraling gericht is, onder te brengen bij ontwikkelingsbeheer dan wel bij natuurbeheer. Het effect van de verschillende beheersvormen, bijvoorbeeld plaggen, maaien en begrazen, loopt nogal uiteen. Plaggen en maaien leiden, omdat er veel mineralen worden afgevoerd, sneller tot een verschraling dan beweiding. Het zijn evenwel maatregelen die binnen een beperkt tijdsbestek en vaak over grote oppervlakten worden toegepast en daardoor eenvormiger in effect zijn dan begrazing. Door permanente extensieve beweiding wordt veel meer variatie in de vegetatiesamenstelling en -structuur in de vorm van macro- en micropatronen verkregen. In "*Levensgemeenschappen*" (*Rijksinstituut voor Natuurbeheer, 1979*) wordt gedetailleerd ingegaan op het beheer van verschillende plantengemeenschappen. In "*Dieren*" (*Rijksinstituut voor Natuurbeheer, 1983*) worden vele aspecten van het faunabeheer behandeld. Over de ontwikkelingen in dierengemeenschappen, al dan niet in samenhang met de successie van de vegetatie, is minder bekend. In het artikel "*Vogelgemeenschappen en vegetatie in essenhakhout*" (*Kalkhoven en Opdam, 1984*), wordt op een heldere wijze uiteengezet welke verschuivingen er kunnen optreden in een vogelgemeenschap bij veranderingen van de vegetatiestructuur.

Op grond van het bovenstaande moge duidelijk zijn hoe groot het belang is van een expliciete doelstellingenkeuze. Om een bewuste keuze te kunnen maken uit de gewenste ecosystemen/levensgemeenschappen is in de eerste plaats inzicht vereist in de actuele en potentiële landschapseigenschappen. Vervangings- en ontwikkelingsreeksen kunnen hierbij een belangrijk hulpmiddel zijn. Bij deze overwegingen moeten de te nemen beheersmaatregelen van het begin af aan worden betrokken.

Bovenvermelde beschouwing heeft zich sterk beperkt tot de "verticale samenhang" in het landschap. Zoals vermeld in par. IV. 3.3.2 is het zaak zich bij de natuurtechnische planvorming bewust te zijn, dat de ontwikkelingen die plaatselijk zullen optreden, ook afhankelijk zijn van - en invloed kunnen hebben op - de horizontale relaties in het landschap. Bij het bepalen van de beheersdoelstellingen en bij het bepalen van de lokatiekeuze behoort dit duidelijk mee te spelen. In de volgende paragrafen wordt dit verder uitgewerkt. Op globale wijze zullen enkele resultaten van het ecologisch onderzoek naar de betekenis van de horizontale relaties worden doorgegeven.

3.3.4. Hydrologische aspecten van inrichting en beheer

Recentelijk uitgevoerd onderzoek in verschillende landschappen (*Van Wirdum*, 1979b; *Kemmers en Jansen*, 1980; *Both en Van Wirdum*, 1981; *Drost en Visser*, 1981; *Everts e.a.*, 1984) heeft meer inzicht gegeven in het verband tussen de vegetatie, de bodem en de waterhuishouding. Voor halfnatuurlijke vegetaties blijken, kwantitatief en kwalitatief gezien, de grondwaterstromen en eventueel optredende inundaties van groot belang te zijn. Zij bepalen bijvoorbeeld de ontwikkeling van gradiënten in de vegetaties die in een beekdal zowel in de lengte als in de dwarsrichting voorkomen. Zo blijken er in de waterhuishouding van een beekdal, van oorsprong tot benedenloop, verschuivingen op te treden in de betekenis van het ondiep afstromende grondwater, dat al dan niet over ondiep gelegen, slecht doorlatende lagen afstroomt en plaatselijk opwelt, en van het diepe grondwater dat vooral in de midden- en benedenloop kwel veroorzaakt.

Van Wirdum (1979a) heeft het inzicht in de betekenis van het grondwater voor het functioneren van ecosystemen verhelderd door onderscheid te maken in een aantal werkingssferen van grondwater. Hij onderscheidt onder meer:

- de *operationele werking*: het water is direct van invloed op de plantenfysiologische processen. Dit geldt voor het water in de wortelzone.
In de landbouw bijvoorbeeld wordt door beregening deze werking bewust beïnvloed om te zorgen dat het gewas over voldoende water kan beschikken;
- de *conditionele werking*: het water is van invloed op de fysische, chemische, en biologische processen in de wortelzone en beïnvloedt daarmee op indirecte wijze de plantenfysiologische processen. Zo gaat verlaging van de grondwaterstand die ten behoeve van de landbouw op veel plaatsen wordt nagestreefd, gepaard met een vervroegde voorjaarsontwikkeling van de graslandvegetatie omdat de bodem sneller kan opwarmen;
- de *positionele werking*: het hydrologische systeem van een stroomgebied reguleert de kwalitatieve en kwantitatieve eigenschappen van de waterhuishouding van dat gebied en is daarmee van invloed op de hierboven genoemde werkingssferen. De positie die een ecotoop in het hydrologisch systeem inneemt, is op deze wijze bepalend voor vele bodemchemische processen. Met name die positionele werking wijst erop dat horizontale relaties in het landschap ten grondslag kunnen liggen aan eigenschappen van een ecotoop. Dit geldt bijvoorbeeld, zoals hieronder wordt beschreven, voor kwelgebieden.

In het bovenstaande is impliciet al gewezen op samenhang tussen de kwantitatieve en kwalitatieve eigenschappen van het grondwater op een bepaalde plaats. Kwantitatieve veranderingen in de waterhuishouding leiden tot veranderingen in de kwalitatieve aspecten van de waterhuishouding.

Onderzoek in een aantal natuurreservaten, uitgevoerd door *Kemmers en Jansen* (1984/1985), heeft belangrijke bouwstenen aangedragen om bovenvermelde samenhang beter te kunnen begrijpen. Er is meer bekend geworden over de randvoorwaarden die natuurlijke begroeiingen stellen ten aanzien van de vocht- en voedingsstoffenbehoefte. Deze kennis is voor de toepassing van de natuurtechniek van grote waarde. In vogelvlucht zal worden aangegeven op welke wijze bepaalde kwantitatieve en kwalitatieve eigenschappen van

de waterhuishouding van invloed zijn op de beschikbaarheid van anorganische stikstof en fosfaat voor natuurlijke begroeiingen.

In het komgrondenreservaat in de Tielerwaard wordt een zodanig slootpeilbeheer gerealiseerd dat midden op de percelen tijdens het groeiseizoen een aanzienlijk langere periode met hoge grondwaterstanden optreedt dan aan de randen van de percelen bij de sloten (*Kemmers en Jansen, 1984/1985*). Midden op de percelen komt een vegetatie voor, waarin de kruidachtigen overheersen, meer naar de slootranden toe domineren de grassen. De lengte van de periode van hoge grondwaterstanden tijdens het groeiseizoen blijkt daarbij van groot belang te zijn. Het reguleert namelijk het verloop van de zuurstofvoorziening, het vochtgehalte in de bodem en de bodemtemperatuur. Deze factoren op hun beurt bepalen mede de stikstofvoorziening van de vegetatie. Een hogere stikstofleverantie, in de vorm van nitraat, doet de grassen toenemen. Uit dit voorbeeld is te concluderen dat dergelijke omzettingsprocessen - mineralisatieprocessen - door middel van peilbeheer zijn te sturen, waardoor bepaalde gewenste ontwikkelingen kunnen worden bevorderd.

Ten aanzien van de kwalitatieve aspecten van de waterhuishouding en hun invloed op de beschikbaarheid van anorganische stikstof en fosfaat moet in het bijzonder gewezen worden op de waarschijnlijk grote betekenis van het kalkgehalte van het grondwater. Grondwater neemt tijdens de stroming door de ondergrond ionen op uit het gesteente. Recent geïnfiltreerd regenwater vertoont nog sterke gelijkenis met regenwater. Tijdens de stroming door de grond wordt het vooral met Ca^{2+} en HCO_3^- -ionen verrijkt. Deze verrijking leidt tot gradiënten in de chemische eigenschappen van het grondwater. In beekdalen komen, zoals in het Drentse Aa-gebied is aangetoond, gradiënten voor van jong, kalkarm, ondiep stromend grondwater tot oud, kalkhoudend, diep grondwater, die in de vegetaties tot uiting komen (*Everts e.a., 1984*).

De conclusie van deze uiteenzetting is dat de positie die een ecotoop in het hydrologische systeem inneemt inderdaad sterk bepalend is voor de fysische en chemische processen die in de bodem optreden en die uiteindelijk de beschikbaarheid van nutriënten en de vegetatieontwikkeling reguleren. Om deze reden is het van belang op te merken dat verlagings van de drainagebasis in gradiëntrijke (kwel)gebieden door de relatief toenemende invloed van het neerslagwater (relatief rijk aan S_4^-) zal leiden tot verzuring.

Vanuit de beschreven achtergronden zal men zich kritisch moeten opstellen ten opzichte van het inlaten van geëutrofeerd oppervlaktewater ter vervanging van kwelwater. Men dient te beseffen dat zelfs de in de winter vastgehouden neerslag in kwalitatief opzicht (dus nog afgezien van eventueel grotere peilfluctuaties) het oude kwelwater niet kan vervangen. Wanneer men zich in het kader van de ontwikkeling van een bepaalde, gewenste levensgemeenschap wil richten op meer stabiele milieuomstandigheden - dat wil zeggen geringe fluctuaties in vochtgehalte en in nutriëntenbeschikbaarheid - dan bieden de lagere delen in het landschap de meest gunstige Ausgangssituatie. Het nadeel van dergelijke laaggelegen gebieden is echter dat zij meestal slecht te isoleren zijn van hun omgeving. De invloeden van geëutrofeerd grond- en oppervlaktewater kunnen in zo'n situatie funeste gevolgen hebben. Dit benadrukt tevens de noodzaak om tot een integraal waterbeheer van stroomgebieden te komen.

3.3.5. Landschapsstructuur en fauna

Vele relaties worden ook onderhouden op of boven het aardoppervlak. Het bestaan van samenhangen in het landschap, de aanwezigheid van meerdere ecotopen in een bepaald patroon, is voor vele diersoorten een belangrijke levensvoorwaarde. Het cultuurlandschap in voorgaande eeuwen was een landschap waar meer of minder natuurlijke biotopen (denk aan bouwlanden, graslanden, bossen en moerassen) verweven met elkaar voorkwamen. In de meer uitgestrekte stabiele biotopen (bossen) kwamen veel organismen voor met een gering verspreidingsvermogen. De sterk instabiele of sterk geïsoleerde biotopen waren in de minderheid. De ruimtelijke verhoudingen tussen deze twee typen milieus zijn nu geheel anders. De oorspronkelijke, grote stabiele biotopen zijn vervallen tot sterk versnipperde en geïsoleerde elementen. De dynamische milieus die nog dynamischer zijn geworden, hebben nu de overhand gekregen. Deze nieuwe situatie had voor de diverse organismen zeer verschillende gevolgen. Met het verdwijnen van veel biotopen verdwenen ook de hierin aanwezige organismen. De versnippering had tot gevolg dat de soorten met een slecht verspreidingsvermogen zodanig geïsoleerd raakten, dat hervestiging na uitsterven vrijwel was uitgesloten. Andere soorten konden nog wel gedijen of zelfs in aantal toenemen dankzij het nog aanwezig zijn of juist de uitbreiding van geschikte habitats, door hun aanpassingsvermogen, of dankzij hun grotere verspreidingsvermogen.

Om in het kader van de natuurtechniek maatregelen ter verbetering te kunnen voorstellen zal zowel van de meer natuurlijke als van de meer "kunstmatige" elementen (wegbermen, houtwallen, sloten) bekend moeten zijn wat hun habitatfunctie en wat hun verbindende functie is voor de verschillende organismen. Op deze functies zal kort worden ingegaan. Vooraf moet echter worden opgemerkt dat er over de ecologie van de verschillende diersoorten in feite nog onvoldoende bekend is. Er is relatief nog het meeste bekend van de hogere (gewervelde) dieren, met name van de vogels en, zij het in mindere mate, van de zoogdieren.

De habitatfunctie

Voor de habitatfunctie geldt allereerst dat er geschikt voedsel moet zijn in de periode dat de soort ter plaatse is. Elke diersoort heeft hierbij haar eigen voorkeur en stelt eisen aan haar omgeving. Die eisen kunnen zelfs binnen een min of meer verwante groep diersoorten duidelijk verschillen. Wil een gebied geschikt zijn, dan moet het ook aan bepaalde afmetingen voldoen. Het moet voldoende groot zijn voor een populatie van minimum omvang en dichtheid. Ten aanzien van de minimum populatieomvang zijn slechts enkele vuistregels te geven. Voor vogels wordt in geval van isolatie een populatie van 50 broedparen als minimum beschouwd, voor zoogdieren gelden aantallen van 50 tot 100.

Om tot een schatting te komen van de minimale terreingrootte van een dergelijke populatie moet het activiteitsgebied van de soort bekend zijn. Dit loopt voor de Nederlandse zoogdieren nogal sterk uiteen. Voor diverse diersoorten, de wezel, het haas, de vos, de steenmarter bedragen zij respectievelijk 2, 2-10, 10-50, 50-200 en meer dan 200 ha. Andere soorten stellen eisen aan minimale oeverlengtes zoals de woelrat, de bever, de nerts en de otter (respectievelijk 200, 200-500, 500-2000 en 2000 m). Voor vogels liggen deze eisen weer heel anders.

Niet alleen bovenvermelde eigenschappen van het habitat zijn van belang voor een diersoort. Er moet ook voldoende milieuheterogeniteit zijn voor:

- de verschillende levensstadia (deelbiotopen);
- voldoende dekking als schuilgelegenheid tegen predatoren;
- broed-, slaap-, rust- en ruigelegenheid of overwinteringsplaats.

Zo zijn vele soorten amfibieën in de loop van het jaar achtereenvolgens op ruimtelijk van elkaar gescheiden overwinterings-, voortplantings- en zomerverblijfplaatsen te vinden.

De verspreidingsfunctie

Ook als aan de bovengenoemde voorwaarden is voldaan, loopt een populatie de kans uit te sterven. Verspreiding (meestal van enkele individuen, een enkele maal massaal) is voor een soort van belang teneinde restpopulaties te versterken, genetische variabiliteit op peil te houden of een ontvolkt gebied te herkoloniseren. Bij de toenemende versnippering van het landschap is het verspreidingsvermogen in relatie tot de mate van isolatie bepalend voor mogelijkheden tot handhaving. De zich slecht verspreidende diersoorten gaan sterker achteruit dan de goede migreerders. *Nelemans* (1979) constateert met betrekking tot loopkevers dat in houtsingels en houtwallen kleine populaties bossoorten voorkomen. Deze landschapselementen kunnen blijkbaar fungeren als reservoir en geleidingsbanen voor die bossoorten. Door deze functie zouden lokale uitstervingsprocessen kunnen worden verminderd.

Over het verspreidingsvermogen van plantensoorten is zeer weinig bekend. Het grootste deel van de beschikbare informatie betreft de mechanismen volgens welke de verschillende plantensoorten hun diasporen (waaronder zaden) verspreiden: door de wind, door water, door dieren, door de plant zelf onder invloed van de zwaartekracht (vallen). Wat dat betreft kan geconcludeerd worden dat isolatie van bijvoorbeeld bosgebieden vooral gevolgen heeft voor die bossoorten die hun diasporen zelf verspreiden, ze eenvoudigweg laten vallen of hun diasporen verspreiden door middel van zich verplaatsende dieren. Beplantingsstroken kunnen een belangrijke bijdrage leveren aan de opheffing van de isolatie voor deze soorten, mits zij het geschikte milieu voor de betreffende plantensoorten bieden. In het geval van verspreiding door dieren moeten zij geschikt zijn als habitat of als geleidingsbaan voor deze dierlijke organismen. In *Gelderblom e.a.* (1985) wordt een overzicht gegeven van de opbouw en natuurwaarden van beplantingsstroken en wordt de verbindende functie van deze lijnvormige elementen met betrekking tot de verspreiding van planten diersoorten uitvoerig behandeld.

De behandelde aspecten van gebiedsgrootte, soortenrijkdom, biotoopheterogeniteit en isolatie worden in de zogenaamde eilandtheorie met elkaar verbonden. Deze hypothese is gebaseerd op onderzoek van *MacArthur en Wilson* (1967). Op basis van kwantitatief onderzoek stellen zij dat het aantal vogelsoorten dat zich op een eiland bevindt, afhankelijk is van enerzijds het uitsterven van populaties en anderzijds van de vestiging van nieuwe soorten. Deze processen zouden op hun beurt weer afhankelijk zijn van:

- de oppervlakte van het eiland;
- de afstand van het eiland tot naburige eilanden en het vaste land.

Beide processen, uitsterven en immigratie, doen zich tegelijkertijd voor. Volgens deze theorie moet er zich afhankelijk van de eigenschappen van een eiland een evenwichtssituatie tussen deze processen instellen. Bij deze evenwichtssituatie zal dan het aantal soorten constant zijn, wat niet zeggen wil dat de soortensamenstelling van het eiland gelijk blijft. De theorie heeft in algemene zin stimulerend gewerkt in het beleid van ruimtelijke ordening en landinrichting (Brussaard en Van der Weijden, 1980). Maar ook moet worden geconstateerd dat het onverstandig is de theorie kritiekloos toe te passen op de situatie van "natuureilanden in de zee van het cultuurlandschap". Zo heeft deze theorie geleid tot het formuleren van een aantal eenvoudige regels voor het inrichten van het landelijk gebied zoals: één groot reservaat is beter dan twee kleine van dezelfde oppervlakte enz. (Diamond, 1975). Dit zijn vaak weinig gelukkige simplificaties. Deze keuze bijvoorbeeld is afhankelijk van de situatie en de doelstelling. Bij een kwetsbare levensgemeenschap in een vijandige omgeving verdient één groot reservaat inderdaad de voorkeur; maar bij sommige soorten als bosrandvogels is een langgerekt element veel effectiever. Kortom, men moet voorzichtig zijn met het stellen van algemene regels. Wel kan geconcludeerd worden dat:

- ruimtelijke relaties tussen gebieden van dien aard moeten zijn dat soorten kunnen migreren;
- "voedende" gebieden een centrale plaats innemen. In deze gebieden kunnen bij gunstige omstandigheden de populaties zo sterk groeien dat de organismen zich zullen gaan verspreiden. Deze gebieden kunnen bovendien soorten herbergen die in een versnipperd gebied niet zouden kunnen voorkomen.

De ruimtelijke relaties tussen gebieden met de daarbij behorende verbindingsschakels (corridors, stepping stones) worden wel aangeduid met de illustratieve term *ecologische infrastructuur*. Binnen het ecologisch onderzoek wordt wel de volgende populaire omschrijving gebruikt: "*De weg waarlangs organismen zich verspreiden*".

Ten behoeve van het ruimtelijk beleid is de volgende meer omvattende omschrijving van de term ecologisch infrastructuur ingevoerd:

"Een samenhangend stelsel van de reeds bestaande en nog tot stand te brengen grote en kleine natuurreservaten en andere gebieden met een natuurfunctie en van de verbindingen daartussen".

Ondanks de gesignaleerde validiteitsproblemen (Margules e.a., 1982; Van Selm, 1983) die aan de zogenaamde eilandtheorie en aan de idee van de ecologische infrastructuur kleven, betekenen deze benaderingen een stimulans voor het natuurbeschermingsbeleid. Het streven om de ontwikkeling van het ecosysteem op een bewuste wijze te bevorderen is hierdoor geïnspireerd.

Uit het bovenstaande blijkt dat ook het ruimtelijk beleid geconfronteerd wordt met de vraag van welke levensgemeenschappen op welke plaatsen gewenst zijn.

De in dit hoofdstuk gegeven informatie geeft hier geen directe antwoorden op, maar er wordt een benaderingswijze aangedragen waarmee vragen die in concrete situaties aan de orde komen, kunnen worden aangevat.

Geconstateerd kan worden dat de idee van de ecologische infrastructuur op de niveaus van bestemming, inrichting en beheer het besef doet groeien, dat via natuurbouw belangrijke schakels in een keten van natuurgebieden en natuurlijke elementen kunnen worden gerealiseerd. De ecosystemen die zich in de natuurbouwobjecten zullen ontwikkelen hebben volgens deze visie betekenis voor het behoud en het herstel van de natuur in het Nederlandse cultuurlandschap. Zij kunnen ook een aanzet geven tot de ontwikkeling van nieuwe natuurwaarden in het cultuurlandschap van de toekomst.

3.4. Planningsaspecten van de natuurtechniek

3.4.1. Algemeen

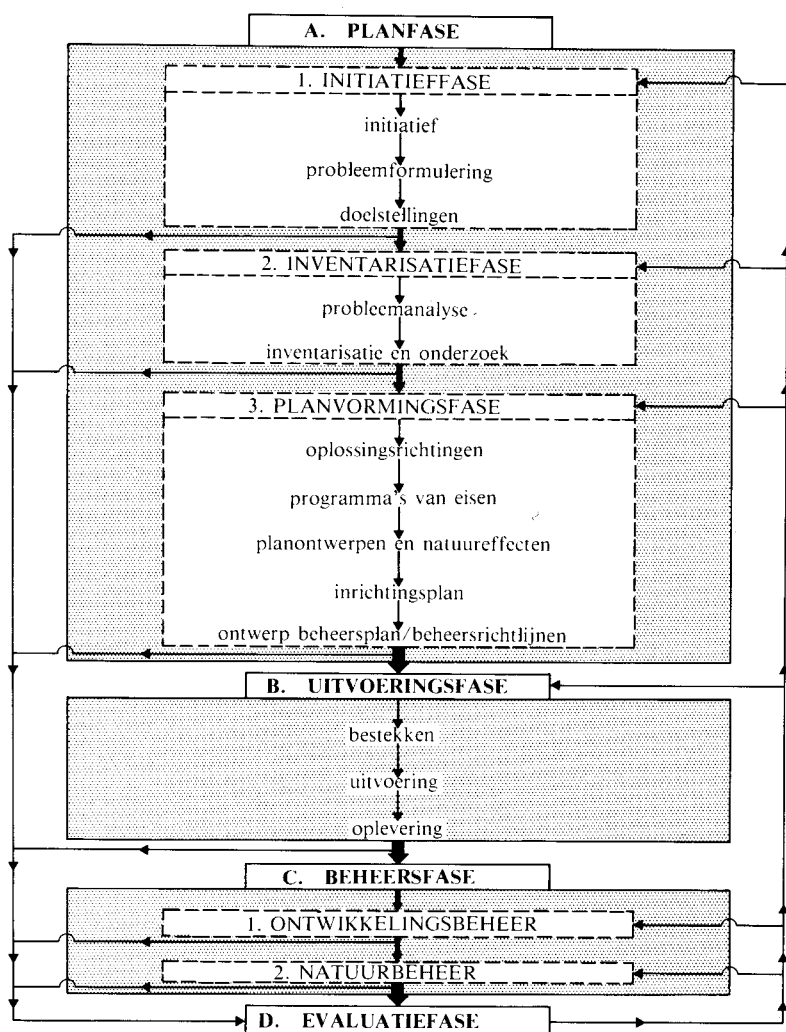
Onder planning kunnen alle activiteiten worden verstaan die gericht zijn op het bereiken van een gewenste situatie. Wat de planning van natuurtechnische werken betreft, is het in principe niet van belang of het daarbij gaat om de aanleg van een natuurterrein of om het herstellen of het ontwikkelen van een bepaalde levensgemeenschap; dezelfde soort planningsactiviteiten dienen ontwikkeld te worden. In het algemeen geldt dat tijdens het planningsproces een aantal planningsfasen doorlopen wordt, die qua aard sterk van elkaar verschillen. Deze fasen volgen elkaar in de tijd op. Naarmate de planningsfasen minder bewust doorlopen worden, is de kans groter dat aan bepaalde aspecten geen of in onvoldoende mate aandacht wordt besteed. Daardoor neemt ook de kans toe dat de gewenste, toekomstige situatie uiteindelijk niet realiseerbaar blijkt of dat die alleen nog te verwezenlijken is ten koste van ingrijpende of kostbare extra maatregelen. Met een duidelijk gestructureerd planningsproces zijn deze problemen grotendeels te voorkomen. Men dient duidelijk voor ogen te hebben welke informatie nodig is, wanneer welk besluit moet worden genomen en wie waarvoor verantwoordelijk is.

In chronologische volgorde zijn de volgende planningsfasen te onderscheiden:

- de planfase;
- de uitvoeringsfase;
- de beheersfase;
- de evaluatiefase.

Een algemeen geldende, gedetailleerde beschrijving van de planningsfasen met de daarin te ontwikkelen planningsactiviteiten is moeilijk te geven. Inhoudelijk kunnen deze namelijk sterk verschillen, afhankelijk van onder meer de aard van het probleem waarvoor een natuurtechnische oplossing wordt gezocht, de mogelijke oplossingsrichtingen en van de financiële en organisatorische mogelijkheden. In figuur 3.4.1 zijn de planningsfasen en de planningsactiviteiten, zoals die elkaar in de tijd (kunnen) opvolgen, schematisch weergegeven. In veel gevallen kunnen terugkoppelingen naar voorafgaande fasen noodzakelijk of wenselijk zijn. Na zo'n terugkoppeling is het vaak nodig dat opnieuw bepaalde stappen in het planningsproces worden genomen.

In de volgende paragrafen zijn de afzonderlijke planningsfasen toegelicht.



3.4.2. Planfase

Initiatief

Veelal is het signaleren van iets dat als een probleem wordt ervaren het allereerste begin van het planningsproces. Voor het ontwikkelen van een deugdelijk natuurtechnisch planontwerp is het noodzakelijk dat het initiatief tot het oplossen van het probleem uitmondt in een duidelijke probleemformulering met daaraan gekoppeld één of meerdere, helder geformuleerde doelstellingen. Aan de hand van deze doelstellingen zullen in latere instantie alternatieve planontwerpen getoetst moeten worden. En ook bij de beoordeling van het gerealiseerde inrichtingsplan, de evaluatie van het uiteindelijke resultaat, vormen zij het toetsingskader. Wanneer er geen doelstellingen zijn of wanneer ze niet duidelijk geformuleerd zijn, kunnen de alternatieve ontwerpen niet goed tegen elkaar worden afgewogen en is ook de beoordeling van het uiteindelijke resultaat eenvoudigweg onmogelijk. "Het creëren van een bloemrijk hooiland" is een goed voorbeeld van een onduidelijke geformuleerde doelstelling. Ieder ander zal zich dat hooiland anders voorstellen. De één denkt aan een vegetatie met veel pinksterbloemen, terwijl de ander denkt aan een orchideeënweide. Er zal dan ook aangegeven moeten zijn aan welke vegetatiesamenstelling of aan welke vegetatie-eenheid (bijvoorbeeld zoals in *Westhoff en Den Held*, 1975) wordt gedacht.

Inventarisatie

Voor een goede probleemanalyse, de eerste stap in de tweede deelfase van de planfase, is een globale karakterisering nodig van het betreffende ecosysteem en van de processen die hierin plaatsvinden. Dit is nodig, omdat foutieve vooronderstellingen kunnen leiden tot een probleemformulering waarmee de feitelijke, veroorzakende factoren niet zijn bloot te leggen. Zo zou voor een bepaald gebied de veronderstelling dat de weidevogeldichtheid afneemt als gevolg van veranderingen in de waterhuishouding, wel eens niet juist kunnen zijn. Het zou namelijk ook een gevolg kunnen zijn van een toename van de verkeersintensiteit op een aan het gebied grenzende weg, waardoor de dieren vaker worden verstoord en uiteindelijk wegtrekken.

Mede op grond van de kennis van de veroorzakende factoren wordt bepaald welke gegevens er voor de planvorming nodig zijn en verzameld moeten worden. Een foutieve probleemanalyse leidt dan ook tot het inventariseren van gegevens voor planontwerpen, waarmee het feitelijke probleem niet is op te lossen.

De te inventariseren gegevens kunnen onder meer de bodem en (diepe) grondwaterstromingen, de flora en fauna betreffen. Alvorens zelf met onderzoek te starten is het vaak zinvol om eerst op plaatselijk niveau naar bestaande informatie te informeren. Vaak zijn in het verleden al bruikbare gegevens verzameld, bijvoorbeeld ten behoeve van het opstellen van bestemmingsplannen. Na gebleken geschiktheid van dat materiaal kan dan worden volstaan met aanvullend onderzoek en aanvullende inventarisaties.

Het kan noodzakelijk zijn de relaties tussen het betreffende gebied en andere - al dan niet aangrenzende - gebieden in het onderzoek te betrekken. Daarbij kan gedacht worden aan relaties die onderhouden worden door trekvogels, maar ook kan gedacht worden aan diepe grondwaterstromingen die kwel- en inzigingsgebieden met elkaar verbinden (zie hfdst. IV. 3.3).

De meer gedetailleerde inzichten in het functioneren van het ecosysteem, die met de verzamelde informatie worden verkregen, geven aanwijzingen voor de mogelijke oplossingen voor het geformuleerde probleem. Ze zijn met andere woorden richtinggevend voor

de natuurtechnische mogelijkheden. Die verworven inzichten kunnen overigens alsnog duidelijk maken dat de probleemformulering niet juist was en dat de opgestelde doelstellingen bijgesteld moeten worden. Daarnaast kunnen zij wijzen op problemen die nog niet eerder zijn gesignaleerd, maar die wel de noodzaak van aanvullende natuurtechnische maatregelen duidelijk maken.

Ecologisch onderzoek is niet alleen zinvol nádat ergens een probleem gesignaleerd is. Het is ook een onmisbaar onderdeel van de planning van bijvoorbeeld infrastructurele werken (aanleg van een weg en dergelijke) of landinrichtingswerken. Deze kunnen namelijk direct of indirect allerlei (negatieve) gevolgen hebben voor het functioneren van bestaande ecosystemen. Tot op zekere hoogte kan ecologisch onderzoek deze consequenties duidelijk maken, nog voordat ze zich als problemen manifesteren. De milieu-effect-rapportage en ook de natuureffectbeschrijving die wordt uitgevoerd in het kader van de HELP-procedure, is hierop gebaseerd. Voor de natuurevaluatie ten behoeve van de landinrichtingsprojecten wordt verwezen naar *Van de Laar* (1983) en *Van Wijland e.a.* (1984). Op basis van de ecologische onderzoeksgegevens kan tevens in globale bewoordingen worden aangegeven op welke wijze met secundaire natuurbouw of met ontwikkelingsbeheer de negatieve gevolgen van de werken zoveel mogelijk kunnen worden beperkt. Daarnaast kunnen daarmee de mogelijkheden tot de ontwikkeling van nieuwe natuurwaarden worden uitgebuit.

Planvorming

Uit de resultaten van het ecologisch onderzoek komen aanwijzingen voort voor de oplossingsrichtingen. Ook volgen daaruit de randvoorwaarden die aan de mogelijke natuurtechnische planontwerpen moeten worden gesteld. De randvoorwaarden worden vervolgens uitgewerkt tot programma's van eisen. Er is een ecologisch programma van eisen te onderscheiden, waarin de ecologische randvoorwaarden zijn verwerkt, bijvoorbeeld ten aanzien van de vochtvoorziening aan de vegetatie. En er is een technisch programma van eisen te onderscheiden. Daarin staan de technische eisen vermeld, waaraan - in geval van het bovenstaande voorbeeld - de waterhuishouding moet voldoen opdat de betreffende vochtvoorziening kan worden gerealiseerd. Op grond van de programma's van eisen en de mogelijke oplossingsrichtingen worden planalternatieven ontwikkeld.

Eén van de alternatieve planontwerpen dient de autonome ontwikkeling van de bestaande situatie weer te geven. De HELP-procedure voor landinrichtingswerken voorziet hierin. Ook is dit vergelijkbaar met het nulplan in een milieu-effect-rapportage.

Voor deze fase in het planningsproces waarin planalternatieven ontwikkeld worden, zijn geen vaste regels te geven. De deskundigheid en de creativiteit van de ontwerper spelen hierbij een grote rol. Omdat het uiteindelijke resultaat van de planvorming sterk afhankelijk is van de keuzes die in deze fase worden gemaakt, is juist nu intensief overleg tussen alle betrokkenen onontbeerlijk.

Alle planontwerpen dienen voorzien te zijn van een beschrijving van de te verwachten natuureffecten. Mede aan de hand van deze beschrijvingen worden de alternatieven tegen elkaar afgewogen. Hierbij vormen de opgestelde doelstellingen het toetsingskader. De toetsing dient te geschieden aan de hand van eenduidige criteria die ontleend zijn aan de doelstellingen, zoals de nagestreefde soortensamenstelling, de aantallen individuen per

soort en bepaalde normen voor abiotische parameters. Vanzelfsprekend zullen ook de budgetaire mogelijkheden voor de aanleg in ogenschouw worden genomen. Tevens zal al in dit vroege stadium van het planningsproces de toekomstige beheerder en het te voeren beheer erbij moeten worden betrokken, want het uiteindelijke plan staat of valt met een gepast beheer. Er dient ten eerste zekerheid te bestaan, dat er een beheerder bereid is het beheer te voeren. En ten tweede moet er zekerheid zijn of het te voeren beheer, ook op de lange termijn, wel financieel, technisch en organisatorisch uitvoerbaar is. Het bovenbedoelde afwegingsproces zal resulteren in de keuze/aanwijzing van het meest optimale planalternatief, dat verder uitgewerkt wordt tot een gedetailleerd inrichtingsplan. In een aantal gevallen zal blijken dat voor de uitwerking nog onvoldoende detailinformatie voor handen is. Aanvullend onderzoek is dan nodig. Tegelijkertijd kunnen eventuele subsidies, benodigde vergunningen en eventueel noodzakelijke wijzigingen in bijvoorbeeld bestemmingsplannen worden geregeld. In samenwerking met de toekomstige beheerder dient nu ook het beheer te worden geregeld. Dit wordt vastgelegd in een beheersplan of in beheersrichtlijnen.

34.3. Uitvoeringsfase

Als het in detail uitgewerkte inrichtingsplan is vastgesteld, kan tot de verdere uitwerking van het plan worden overgegaan; in samenwerking met de "ontwerper" worden de bestekken opgesteld. In een bestek wordt een beschrijving van het werk gegeven, deels in de vorm van werktekeningen. Tevens worden daarin de voorwaarden vastgelegd waaraan het werk moet voldoen.

De aard van het natuurtechnische werk maakt het vaak noodzakelijk dat de uitvoering voldoet aan eisen die voor andere werken niet van belang zijn. Zo is het bij afgraving van een gestoorde, nutriëntenrijke bouwvoor niet gewenst dat materiaal daarvan achterblijft op het "nieuwe" maaiveld. Ook is het niet gewenst dat het afgegraven terrein daarna nog wordt bereden. Dit kan namelijk de vestiging van een storingsvegetatie tot gevolg hebben, die de gewenste vegetatie-ontwikkeling jaren vertraagt. Een uitvoerige beschrijving van de uitvoeringswijze zal dan ook vaak onderdeel van het bestek moeten zijn.

Het werk kan in eigen beheer worden uitgevoerd, doch meestal zal dit door derden worden gedaan. Bij werk dat speciaal materieel of specifieke kennis vereist, kan het werk "uit de hand" worden uitbesteed aan één bepaalde aannemer die al de nodige ervaring met dit soort werk heeft. Begeleiding en terugkoppeling naar het inrichtingsplan is steeds noodzakelijk, vooral indien op het werk weinig of geen ervaring met de realisering van natuurtechnische werken aanwezig is. Daarbij komt dat niet altijd alle wensen van de ontwerper in het bestek zijn te verwoorden en er zich op het werk onverwachte zaken kunnen voordoen, waarop de ontwerper met zijn kennis wel, maar de aannemer niet adequaat kan reageren.

Voorlichting aan de streekbewoners over de doeleinden van het natuurtechnische werk is vaak zeer wenselijk. De acceptatie van het werk kan daarmee worden vergroot.

3.4.4. Beheersfase

Direct aansluitend op de uitvoering van het werk dient met het vereiste beheer te worden begonnen. Daarvoor was al in de planfase - in overleg met de beheerder - het te voeren beheer(sregime) vastgesteld en vastgelegd in een beheersplan of in beheersrichtlijnen. Doordat de beheerder al in zo'n vroeg stadium van het planningsproces is betrokken, zal over het algemeen zijn motivatie groter zijn dan wanneer hij pas na de uitvoering van het werk wordt benaderd en wordt geconfronteerd met een reeds vastgesteld beheersplan. Naast het beheer(sregime) dient onder meer te zijn vastgelegd: de doelstellingen van het natuurtechnische werk, de uitgangssituatie, de verwachte ontwikkelingen, de doelstellingen van het beheer en andere relevante gegevens. In de beheersfase dienen de ontwikkelingen regelmatig te worden gevolgd en te worden getoetst aan de (beheers)doelstellingen. Zonodig kan dan worden besloten het beheer of de beheersdoelstellingen bij te stellen.

Betreft het uitgevoerde werk natuurbouwmaatregelen dan is, zoals in hfdst. IV. 3.2 is gesteld, de beheersfase te verdelen in twee elkaar in de tijd opvolgende deelfasen. In de eerste deelfase kunnen de beheersingrepen vrij krachtig zijn. Er is dan sprake van ontwikkelingsbeheer dat bestaat uit het geleiden van en het sturend ingrijpen in een zich nog snel ontwikkelende levensgemeenschap. In de daarop volgende deelfase zijn de ingrepen veelal minder krachtig en er wordt veelal ook minder vaak ingegrepen. Er is dan sprake van natuurbeheer, dat meer gericht is op het handhaven van de zich inmiddels ter plekke gevestigde en gewenste levensgemeenschap.

3.4.5. Evaluatiefase

Ten behoeve van de evaluatie(fase) is het nodig dat gedurende het gehele planningsproces zoveel mogelijk relevante informatie wordt vastgelegd. De evaluatie heeft ten doel na te gaan in hoeverre het uiteindelijke resultaat voldoet aan de doelstellingen van het natuurtechnische werk. Hieruit kan lering getrokken worden, zowel uit de geslaagde als uit de niet geslaagde werken. Bij deze evaluatie dienen de natuurwaarden, het kostenaspect, de planningsprocedure en het beheer aan de orde te komen.

De evaluatiefase kan niet beschouwd worden als "het" eindpunt van het planningsproces. Gedurende het gehele proces hebben tussentijdse evaluaties plaatsgevonden, die in dit hoofdstuk zijn aangeduid als terugkoppelingen. Ze kunnen binnen één afzonderlijke planningsfase plaatsvinden - zo wordt wel gesproken van het "evaluerend planontwerpen" in de planfase -, maar ook kan teruggekoppeld worden naar een voorafgaande fase. Evalueren is een "continue" planningsactiviteit. Van een echt eindpunt kan ook niet gesproken worden, omdat ook het gevoerde natuurbeheer telkens weer geëvalueerd moet worden, zodat het eventueel tijdig kan worden bijgesteld.

3.5. Natuurbouw in de praktijk: uitgangspunten en uitvoering

In dit hoofdstuk wordt in de vorm van een puntsgewijze opsomming en enige illustraties een schets gegeven van een aantal principes en mogelijkheden die er zijn bij het uitvoeren van natuurbouwwerkzaamheden in de praktijk. Een meer genuanceerd beeld kan worden verkregen door bestudering van de in hfdst. IV. 3.6 met een * aangeduide literatuur. In dit kader dienen met name te worden genoemd de door de Landinrichtingsdienst uitgebrachte rapporten in de serie "Natuurtechnische mogelijkheden voor Landinrichtingsprojecten" (*Van de Laar*, in voorbereiding; *Van Herwaarden*, 1987 -1 t/m 3; 1988; meer delen zijn in voorbereiding).

3.5.1. Uitgangspunten

Algemeen

Waar/wanneer

Natuurbouw kan in principe worden toegepast overal waar de voorwaarden aanwezig zijn en de mogelijkheden zich voordoen. De doelstellingen, die aan een natuurbouwproject worden toegekend zijn van verschillende factoren afhankelijk: wat is de ligging van het object ten opzichte van de omgeving, wat zijn de eigenschappen van bodem en waterhuishouding, wat is de grootte, hoe past het object in het totaal van de ecologische infrastructuur. In feite kan gesteld worden, dat een natuurbouwproject vrijwel altijd een positieve functie zal hebben voor plant en dier. Het kan een leefplaats worden voor zeldzame organismen. Maar ook een rietruigte met allerlei ruigtkruiden erin heeft haar betekenis voor insecten (vlinders, hommels) en vogels (broedgelegenheid, wintervoedsel).

Natuurbouw is mogelijk zowel binnen als buiten de bebouwde kom van dorp of stad. Er kunnen dan wel andere uitgangspunten gelden.

Buiten de bebouwde kom zullen vooral ecologische principes worden gevolgd (een milieu maken voor gewenste levensgemeenschappen met minimale ingrepen), terwijl binnen de bebouwde kom esthetische voorwaarden meer van toepassing kunnen zijn. Een meer "plantsoenmatige" aanpak is daar heel goed te verdedigen.

Abiotische uitgangspunten

Natuurbouw is, met name buiten de bebouwde kom, in grote lijnen niet meer dan het geschikt maken van een bepaald gebied voor een gewenste levensgemeenschap. Hierbij zijn drie abiotische milieufactoren te beïnvloeden:

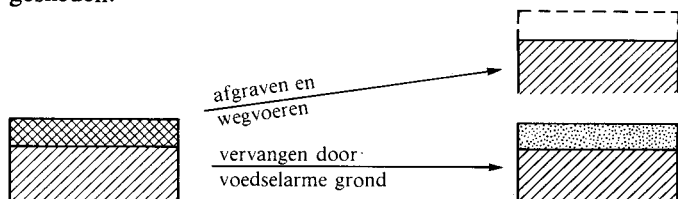
- a. bodem;
- b. water;
- c. reliëf.

Ad a. Bodem

Nederland bestaat grofweg uit drie grondsoorten: veen, klei en zand. In het algemeen geldt dat uitgegaan moet worden van een laag humusgehalte. Het humusgehalte bepaalt

in hoge mate de hoeveelheid voedsel die voor de plant beschikbaar is. Als er veel voedsel beschikbaar is, krijgen - in het algemeen minder gewenste - ruigtkruiden en snel groeiende grassen de overhand, terwijl de soorten die daar niet aan zijn aangepast, maar die veelal wel gewenst worden, worden weggedrukt.

Indien men een "voedselarme" vegetatie wenst dan is een algemeen uitgangspunt dat de bouwvoor dient te worden verwijderd. Hierbij moet worden voorkomen dat de onderliggende bodem wordt vergraven. De bovenlaag moet er dus als het ware worden afgesneden.

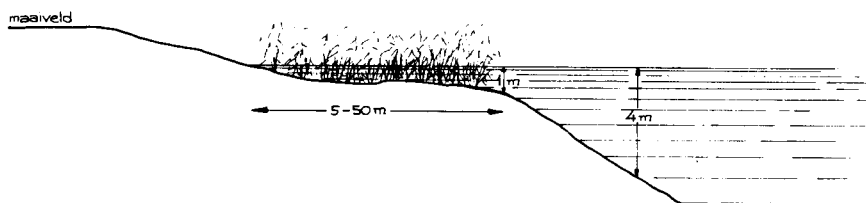


Figuur 3.5.1. Het voedselarmen maken van het milieu door middel van grondverzet. De voedselrijke bovenlaag is door een dubbele arcering aangegeven.

Bij veen geldt, gezien het humusgehalte van deze grondsoort, een ander principe. Het is bekend, dat onder invloed van zuurstof humus "verbrandt", waarbij mineralen als stikstof voor de plant beschikbaar komen (mineralisatie). Door een zodanige hoogteligging te kiezen dat de veenbodem volledig met water verzadigd en dus zuurstofloos is, vindt dit proces niet plaats en geeft deze grondsoort weinig voedsel af aan de vegetatie.

Ad b. Water

Water geeft aan een milieutype altijd een extra dimensie, te meer wanneer er sprake is van een geleidelijke overgang tussen water en land (vochtgradiënt).



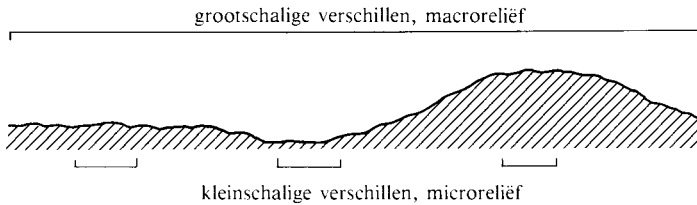
Figuur 3.5.2. Voorbeeld van een goede uitgangssituatie voor een gevarieerde moerasbegroeiing.

Voor het slagen van een dergelijk project dient de kwaliteit van het water te worden geoptimaliseerd en de waterhoogte (door middel van het waterpeil) te worden geregeld.

In principe moet optimaal gebruik worden gemaakt van gebiedseigen water. Vaak zal alleen regenwater ter beschikking staan. De mogelijkheden van het vasthouden van water in natte tijden dient in een project altijd te worden gezien. Moet toch water worden ingelaten, dan is het soms mogelijk dit - meestal voedselrijke - water te geleiden door een "waterzuiverende" begroeiing van biezten, lisdodde, riet etc.

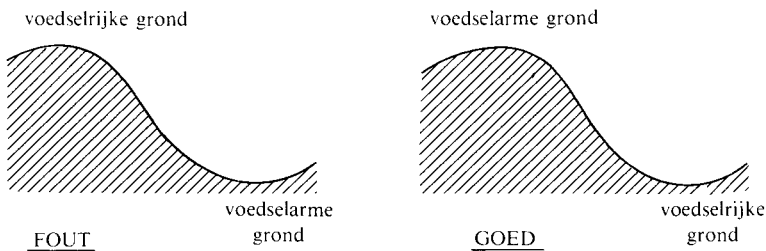
Ad c. Reliëf

Reliëf geeft in een milieu extra leefmogelijkheden voor plant en dier. Het ene plekje is natter dan het andere, wat warmer of kouder, wat meer of minder op de wind. Navolgend figuur spreekt voor zich.



Figuur 3.5.3. *Reliëf. Het reliëf moet worden gemaakt door de bovengrond af te snijden en de ondergrond ongeroerd te laten.*

In het geval dat het binnen het ontwerp past reliëf te maken (bijvoorbeeld bij een geluidswal) dient als beginsel te worden gehanteerd dat voedselarme grond hoger komt te liggen dan voedselrijke grond. In geval dat de grondsoorten andersom liggen, kunnen voedingsstoffen tezamen met (neerslag)water uit de voedselrijke grond naar beneden bewegen, waardoor de voedselarme grond voedselrijker wordt en waardoor de verschillen tussen de ene plek en de andere plek vervagen.



Figuur 3.5.4. *De voedselarme grond wordt hoger gesitueerd dan de voedselrijke grond.*

Biotische uitgangspunten

Natuurbouw is het geschikt maken van het milieu voor een gewenste levensgemeenschap. In het algemeen kan er van worden uitgegaan dat als het milieu geschikt (gemaakt) is, de daar thuishorende planten en dieren binnen kortere of langere tijd vanzelf komen. Dit betekent dat het zaaien van kruiden, het aanplanten van bomen en struiken, het uitzetten van dieren (bijvoorbeeld amfibieën) meestal overbodig en zelfs ongewenst is.

Er zijn hierop uitzonderingen denkbaar, namelijk wanneer:

- het terrein voor bepaalde plante- en diersoorten (bijvoorbeeld voor planten met zware zaden) te geïsoleerd ligt;
- ter voorkoming van erosie een snelle vastlegging van de bodem noodzakelijk is;
- het vanuit visueel oogpunt wenselijk is dat snel een verticale groenstructuur wordt verkregen.

3.5.2. Uitvoering

In het kader van de uitvoering van technische werken doen zich vaak mogelijkheden voor om aan natuurbouw te doen.

Het spreekt echter voor zich dat natuurbouw nooit als argument mag worden gebruikt om een bepaald werk "er door te krijgen". Natuurbouw is immers geen vrijbrief. Het is een misvatting te menen, dat zo zonder meer het ene stuk natuur door het andere kan worden vervangen.

Als het evenwel duidelijk is, dat een werk zal worden uitgevoerd, dient ten alle tijden worden nagegaan hoe natuurbouw is in te passen in dit werk. Hieronder wordt in de vorm van "tips" en illustraties een idee gegeven aan welke mogelijkheden van natuurbouw kan worden gedacht bij een beperkt aantal werkzaamheden, namelijk bij wegebouw en waterbouw. Meer informatie en illustraties zijn te vinden in de publikaties die in de literatuurlijst zijn vermeld.

Natuurbouw bij wegebouw

Enkele tips met betrekking tot:

- aanleg wegbermen:
 - . humusarme bovengrond
 - . streven naar micro-reliëf
 - . zo min mogelijk zaaizaad (B3-mengsel 15-25 kg · ha⁻¹)
 - . beheer: in principe 1 à 2 keer per jaar maaien, maaisel afvoeren; tijdstip afhankelijk van vegetatietype
- aanleg bermsloten:
 - . sloten overdimensioneren
 - . ten minste aan één zijde een flauw talud (geleidelijke overgang water - land); eventueel een getrapt talud met een berm onder en/of boven water
 - . beheer: afhankelijk van de functie van de watergang; in ieder geval zo extensief mogelijk. Het is mogelijk een strook vrij te houden voor waterafvoer en één van de oevers (tijdelijk) te laten verlanden
- aanleg beplanting:
 - . alleen toepassen als dit vanuit een doelstelling beslist noodzakelijk is; vooral bij aanwezigheid van een waardevolle en/of soortenrijke kruidachtige begroeiing in de berm het aanbrengen van beplanting dus ter discussie stellen
 - . in het algemeen zeer terughoudend zijn met inzaaien/aanplanten van kruiden (en dan alleen als de herkomst bekend is en passend is voor de omgeving)
 - . enkele ideeën:
 - bij bosaanplant een randstruweel
 - reliëf in de bodem
 - houtwallen
 - struweel onder bomen bij laanbeplanting
 - verspreid in de berm enkele struiken (bijvoorbeeld meidoorn, sleedoorn)

- inrichting overhoeken:

- allerlei mogelijkheden: bijvoorbeeld randen beplanten, het midden uitgraven
- een "milieu" maken dat hier vroeger van nature voorkwam, maar door welke oorzaak dan ook nu verdwenen is of zeldzaam is geworden (bijvoorbeeld een moeras, een heideveld, een stuifzand enz.)

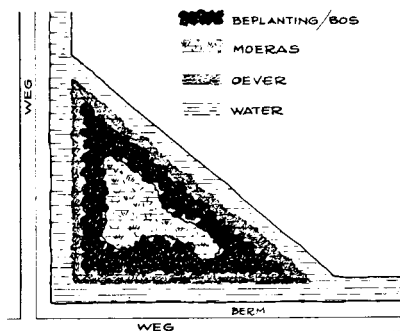
Een beplante overhoek.



Een natuurtechnisch ingerichte overhoek.



Figuur 3.5.5. Dwarsdoorsneden van overhoeken.

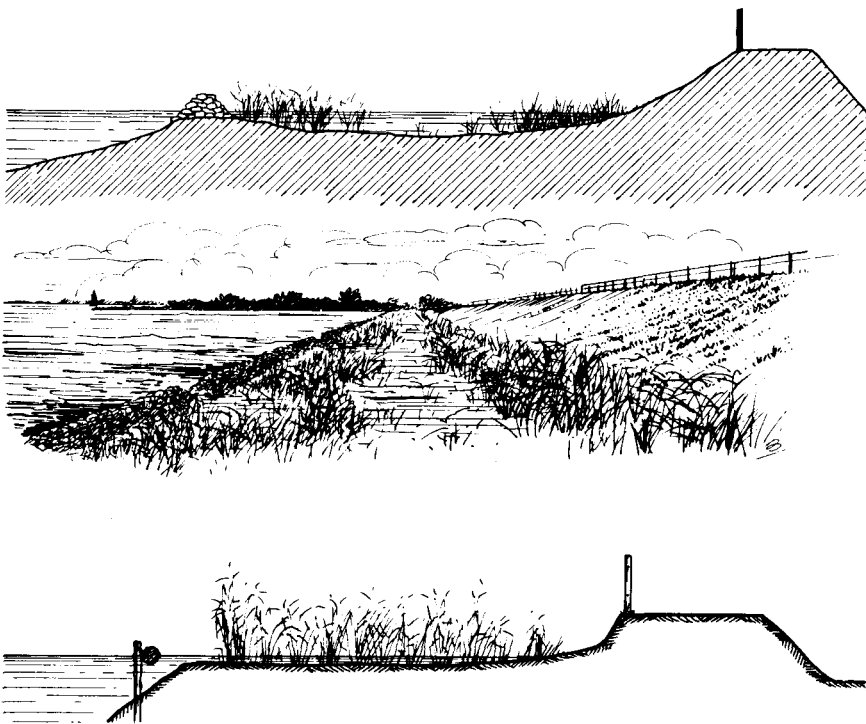


Figuur 3.5.6. Bovenaanzicht van een overhoek.

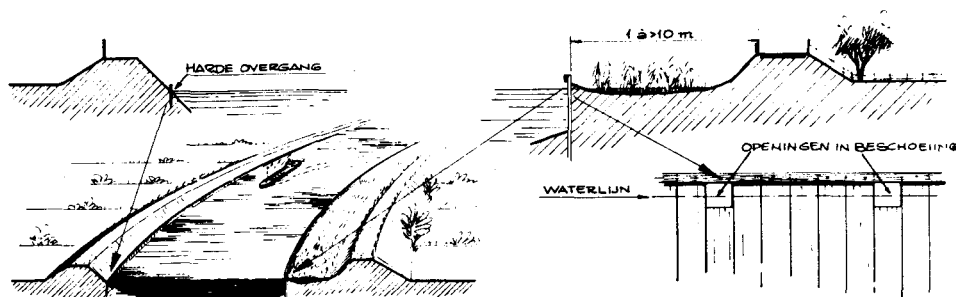
Natuurbouw bij waterbouw

Waterbouwprojecten kunnen qua aard erg verschillend zijn. Hieronder worden slechts enkele mogelijkheden aangegeven met betrekking tot:

- aanleg/verbetering:
 - . overdimensionering, waardoor:
 - onderhoud minder frequent hoeft plaats te hebben
 - de watergang eenzijdig kan verlanden
 - . flauwe taluds op overgang water/land
- aanleg/verbetering kanalen/rivieren:
 - . milieuvriendelijke beschoeiingstypen (strook water/moeras tussen beschoeiing en land)



Figuur 3.5.7. Een puindam met daarachter een rietkraag in ontwikkeling. In de puindam moet af en toe een onderbreking worden aangebracht ten behoeve van de wisselwerking met het buitenwater. De puindam kan ook vervangen worden door een drijfbalk.



Figuur 3.5.8. Mogelijkheid voor de ontwikkeling van een rietkraag langs een kanaal.

3.6. Literatuur

Opm. De in hfdst. IV. 3.5 bedoelde literatuur is in navolgende lijst aangeduid door toevoeging van een * achter het jaartal.

- Amstel, A.R. van en J. van Baalen, 1984*.
Natuurbouw in veenweidegebieden en droogmakerijen. IVM, Amsterdam.
- Bennet, R.J. and R.J. Chorley, 1978.
Environmental systems. Philosophy, analysis and control. Methuen, Londen.
- Boere, G.C. en A. van der Ouderaa (red.), 1983.
Bever in Nederland? Een onderzoek naar de mogelijkheden tot herintroductie van de bever in Nederland. Werkgroep Bevers in Nederland. Staatsbosbeheer, Utrecht.
- Bossenbroek, P., 1982*.
Natuurtechniek. Natuurtechnische inrichting van grindgaten. Tijdschr. Kon. Ned. HeideMij 93(12): p.486-494.
- Both, J.C. en G. van Wirdum, 1981.
Waterhuishouding, bodem en vegetatie van enkele Gelderse natuurgebieden. Rp. 81/18. Rijksinstituut voor Natuurbeheer, Leersum.
- Brussaard, L. en W. van der Weijden, 1980.
Biogeografie van eilanden. Intermediair 16(18) en 16(19).
- Diamond, J.M., 1975.
The island dilemma. Lessons of modern biogeographic studies for the design of natural reserves. Biol. Conserv. 7(2): p.129-146.
- Diemont, W.M., F.G. Blanckenborg e.a., 1983*.
Blij op de hei? Staatsbosbeheer, Utrecht.
- Drost, H.J. en J. Visser, 1981.
Het grondwaterregiem als structurerende factor voor de begroeiing in afgesloten estuaria, met een toepassing in het Grevelingenbekken. In: R.H.A. van Duin, e.a.: 50 jaar onderzoek door de Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders, deel II.
- Duin, R.H.A. van, 1981*.
Voorbeelden van natuurbouw. Collegedictaat Natuurbouw deel B, herziene uitgave. Landbouw Hogeschool, Wageningen.

- Everts, F.H., A.P. Grootjans e.a., 1984.
Vegetatiekartering van de Drentse Aa. Laaglandbekenproject. Staatsbosbeheer, Rijksuniversiteit, Groningen.
- Gelderblom, L., R. Kuijsters e.a., 1985.
Ecologische infrastructuur en landinrichting. Meded. 78 vakgroep Cultuurtechniek; Meded. 244 vakgroep Natuurbeheer; Meded. vakgroep Planologie. Landbouw Hogeschool, Wageningen.
- Herwaarden, G.J. van, 1987-1.
Natuurtechnische mogelijkheden voor landinrichtingsprojecten. Deel 2: De Otter. Meded. 170. Landinrichtingsdienst, Utrecht.
- Herwaarden, G.J. van, 1987-2.
Natuurtechnische mogelijkheden voor landinrichtingsprojecten. Deel 3: De Das. Meded. 178. Landinrichtingsdienst, Utrecht.
- Herwaarden, G.J. van, 1987-3.
Natuurtechnische mogelijkheden voor landinrichtingsprojecten. Deel 4: Bermen. Meded. 185. Landinrichtingsdienst, Utrecht.
- Herwaarden, G.J. van, 1988.
Natuurtechnische mogelijkheden voor landinrichtingsprojecten. Deel 5: Sloten en vaarten. Meded. 186. Landinrichtingsdienst, Utrecht.
- Kalkhoven, J.T.R. en P.F.M. Opdam, 1984.
Vogelgemeenschappen en vegetatie in essenhakhout. De Levende Natuur 85(1): p.3-9.
- Kalkhoven, J.T.R., A.H.P. Stumpel e.a., 1976.
Landelijke milieukartering. Een landschapsecologische kartering van het natuurlijk milieu in Nederland ten behoeve van de ruimtelijke planning op nationaal niveau. Studierapport no. 8. Rijksplanologische Dienst. Staatsuitgeverij, 's-Gravenhage.
- Kampf, H. 1981*
Natuurtechniek. Natuurtechniek bij civiel- en cultuurtechnische werken. Tijdschr. Kon. Ned. Heide-Mij 92(11): p.440-448 en 92(12): p.493-498.
- Kemmers, R.H. en P.C. Jansen, 1980.
De invloed van chemische factoren in grondwater en bodem op enkele vegetatietypen in het CRM-reservaat "Groot-Zandbrink". Nota 1181. Instit. voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Wageningen.
- Kemmers, R.H. en P.C. Jansen, 1984/1985.
Hydrologie in relatie tot de beschikbaarheid van vocht en voedingsstoffen en natuurlijke begroeiingen. Cultuurtechn. Tijdschr. 24(4): p.195-211.
- Korridon, A.H., G.K.R. Polman, e.a., 1981*.
De Oostvaardersplassen. Ontwikkeling en onderzoek van een nieuw natuurgebied in Flevoland. Flevo-bericht nr. 169. Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders, Lelystad.
- Laar, J.A.J. van de, 1983.
De natuurevaluatie in het kader van HELP. Meded. 149. Landinrichtingsdienst, Utrecht.
- Laar, J.A.J. van de, in voorbereiding.
Natuurtechnische mogelijkheden voor landinrichtingsprojecten. Deel 1: Overwegingen, uitgangspunten en richtlijnen. Meded. Landinrichtingsdienst, Utrecht.
- Leeuwen, C.G. van, 1979.
Ecologie. Syllabus deel I. Technische Hogeschool, Delft.
- Lindeman, R.L., 1942.
The trophic-dynamic aspect of ecology. Ecology 2, 3, 4.
- Londo, G., 1977*.
Natuurtuinen en -parken. Aanleg en onderhoud. Thieme, Zutphen.
- Londo, G., 1982.
Kleinschalige natuurbouw proeftuin Scherpenzeel. Plantesoorten 1967-1976. Rp. 82/16. Rijksinstituut voor Natuurbeheer, Leersum.
- MacArthur, R.H. and E.O. Wilson, 1967.
The theory of islands biogeography. Princeton Univ.Press. Princeton.

- Margulus, C., A.J. Higgs e.a., 1982.
Modern biogeographic theory. Are there any lessons for nature reserves design? *Biol. Conserv.* 24(2): p.115-128.
- Nelemans, M., 1979.
De biologische betekenis van houtsingels in Zuidelijk Westerkwartier, in het bijzonder voor loopkevers. Rapport. Rijksuniversiteit, Groningen.
- Newbold, C., 1983*.
The management principles of nature conservation and land drainage. Two antagonistic aims? *Proc. EWRS 6th Symp. on Aquatic Weeds*: p.86-95.
- Nijs, R.J.V., 1982.
Ecologie; theorie en praktijk. De Nederlandse Boekhandel, Antwerpen/ Amsterdam.
- Odum, E.P., 1971.
Fundamentals of ecology. 3rd ed. Saunders Company, London.
- P.A.O.-cursus, 1983*.
Natuurbouw 1983. Landbouw Hogeschool, Wageningen.
- Polman, G.K.R., 1980*.
Het weidevogelgebied de Kievitslanden in Flevoland, . Beheersplan. Flevovericht nr. 160. Rijksdienst voor IJsselmeerpolders, Lelystad.
- Polman, G.K.R., 1981*.
De waterbeheersing in het natuurgebied de Oostvaardersplassen. Rp. 1981-29-ABw. Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders, Lelystad.
- Polman, G.K.R. (eindred.), 1982*.
Studie naar de mogelijke inrichting van de omgeving van de Oostvaardersplassen. Flevovericht nr. 185. Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders, Lelystad.
- Proost, J., A.F.J. van Baarsen e.a., 1983.
Ecologisch onderzoek in Flevoland ten behoeve van inrichting en beheer van zandstranden. *Cultuur-techn. Tijdschr.* 23(3): p.139-150.
- Rijksinstituut voor Natuurbeheer, 1979.
Natuurbeheer in Nederland. Levensgemeenschappen. Pudoc, Wageningen.
- Rijksinstituut voor Natuurbeheer, 1983.
Natuurbeheer in Nederland. Dieren. Pudoc, Wageningen.
- Schlüter, G.K.R. (eindred.), 1982*.
Lebendbau. Ingenieurbiologische Bauweisen und lebende Baustoffen. Verslag G.D.W., Callway/ München.
- Schroevers, P.J. (red.), 1982.
Landschapstaal. Een stelsel van basisbegrippen voor de landschapsecologie. Pudoc, Wageningen.
- Schouwenaars, J.M., 1979*.
De sloot. Onderdeel van het waterbeheersingsstelsel en biotoop voor plant en dier. Collegedictaat. Landbouw Hogeschool, Wageningen.
- Scott, D.A. (ed.), 1982*.
Managing wetlands and their birds. A manual of wetlands and waterfowl management. I.W.B.R., Slimbridge.
- Selm, A.J. van, 1983.
Knelpunten bij toepassing van de eilandtheorie in de ruimtelijke ordening. *WLO, Meded.* 10(4): p.160-166.
- Shelford, V.E., 1913.
Animal communities in Temperate America. Univ. Chicago Press, Chicago.
- Thijssen, W., 1972*.
Bekkens in het groen. Over het grensgebied van techniek en natuur. Biesbosch. In de stroomversnelling van een stilstaand getij. Almkerk.
- Tüxen, R., 1956.
Die heutige potentielle natürliche Vegetation als Gegenstand der Vegetationskartierung. *Angewandte Pflanzensoziologie* 13.

- Vera, F.W.M., 1980*.
De Oostvaardersplassen. De mogelijkheden tot behoud en verdere ontwikkeling van de levensgemeenschap. Staatsbosbeheer. Utrecht.
- Werkgroep Amfibieën en Reptielen Nederland, 1984*.
Samenvattingen van de voordrachten, gehouden op de Poelendag (8 oktober 1983, Nijmegen). Secretariaat WARN, Arnhem.
- Werkgroep Natuurtechniek, 1981.
Begrippen en definities in de natuurtechniek. Verslag deel 1.
- Werkgroep Natuurtechniek, 1985.
Natuurtechniek van-morgen (een verkenning van mogelijkheden). Verslag deel 2.
- Westhoff, V. en A.J. den Held, 1975.
Plantengemeenschappen in Nederland. 2e druk. Thieme, Zutphen.
- Wildermuth, M. 1980*.
Natur als Aufgabe. S.B.N., Basel.
- Wirdum, G. van, 1979a.
Ecoterminologie en grondwaterregime. WLO, Meded. 6(1): p.19-24.
- Wirdum, G. van, 1979b.
Dynamic aspects of trophic gradients in a mire complex. Proceedings and Informations no. 25: p.66-82.
Committee for Hydrological Research TNO, 's-Gravenhage.
- Wijland, F. van, J.A.J. van de Laar e.a., 1984.
Landinrichting en natuurevaluatie. Cultuurtechn. Tijdschr. 24(1): p.41-48.

4. Informatie ten behoeve van landinrichtingsplannen

4.1. Technisch informatiesysteem landinrichting (TINFOL)

Per project wordt ten behoeve van de planvorming, de evaluatie en de uitvoering, een groot aantal gegevens verzameld in de vorm van kaarten, rapporten en tabellen. Dit geheel van gegevens kan aangeduid worden als de technische informatie voor landinrichtingsprojecten. Ten aanzien van het gebruik van de inventarisatiegegevens en de inventarisatie zelf speelt de elektronische informatieverwerking een steeds belangrijkere rol.

Coördinatie op het gebied van de elektronische informatieverwerking in verband met onder andere database management en kostenefficiëntie is noodzakelijk. Daartoe is de projectgroep TINFOL ingesteld met als taak : "het bestuderen en opbouwen van een technisch informatiesysteem voor landinrichtingsprojecten".

In deze groep zijn vertegenwoordigd: de Landinrichtingsdienst (LD), de Stichting voor Bodemkartering (StiBoka) en het Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding (ICW). Na de instelling in 1983 van de Stuurgroep Automatisering LD (SALD) worden de resultaten van de werkgroep TINFOL ingebracht in deze stuurgroep.

Het door de projectgroep TINFOL opgestelde relatieschema van de meest gebruikelijke inventarisaties en de gebruiksdoelen is weergegeven in figuur 4.1.1.

De ontwikkelingen op het gebied van computerprogramma's ten behoeve van landinrichting verlopen snel, met het gevolg dat een overzicht van de bestaande programmatuur snel is verouderd. Een momentopname van de voor de Landinrichtingsdienst beschikbare programmatuur werd gepubliceerd in het themanummer van het Cultuurtechnisch Tijdschrift, "Informatievoorziening en automatisering bij de Landinrichtingsdienst" (*Cultuurtechnisch Tijdschrift*, 1986)

Door de projectgroep is geanalyseerd welke typen gegevens voor de diverse gebruiksdoelen bij de voorbereiding van landinrichtingsprojecten worden gebruikt. Daarbij zijn een twaalfstal studieterrainen onderscheiden: basiskaart, bodem, hoogte- (en technische) kaart, cultuurtechnische inventarisatie (en toedeling), wegen en verkeer, kavelinrichting, waterhuishouding, natuur, landschap, grondwater, landbouweconomie en recreatie. Voor een aantal studieterrainen worden in het genoemde themanummer de op dat moment beschikbare programma's genoemd:

- Digitale topografische basiskaart: DIGTOP-LI;
- Bodem- en grondwatertrappen: BOPAK;
- Wegen en verkeer: IWL, GAZELLE, BENKELMANBALK, KENTEKENONDERZOEK, ASLAST;
- Cultuurtechnische inventarisatie: CI, FOCUS, DIGKAV;
- Toedeling: INTOVOL;

			Voorbereiding												Uitvoering						
			Bestaande toestand beschrijven						Plan maken					Consequenties overzien							
GEGEVENS			ontsluiting	waterbeheersing	landbouw (sociaal-economisch)			verkeveling	landschap	natuur	recreatie	ontsluitingsplan	waterbeheersingsplan	kavelinrichtingsplan	boerderijverplaatsing/toedelingsplan	landschapsplan inclusief natuur-relatienota	recreatieplan	begroting	evaluatie	le schatting	
Kadastrale kaarten	5.000	K					x					x	x	x	x	x	x				x
fotogram. kaarten ¹⁾	5.000	T,C	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x				x
luchtfoto's	5.000	T	x	x		x	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x				x
cultuurtechnische inventarisaties	10.000	I	x			x	x					x	x	x	x	x	x				x
sociaal-economische gegevens	-	L				x									x	x		x	x		
hoogtegegevens	5.000	C					x	x				x	x	x	x	x	x				x
bodemgegevens ⁴⁾	10.000	S			x				x	x		x	x	x	x	x	x				x
wegeninventarisatie ⁵⁾	5.000	C	x									x								x	
waterinventarisatie ⁶⁾	5.000	C			x								x							x	
utiliteitsgegevens	5.000	N,C										x	x	x	x			x			x
kavelinrichtingsinventarisatie ⁷⁾	5.000	C					x						x	x						x	
landschapsinventarisatie ⁸⁾	5.000	C,S						x								x					x
natuurinventarisatie	5.000	R								x						x					x
recreatie-inventarisatie ⁹⁾	10.000	C									x						x				x
ontsluitingsplan	5.000												x	x	x	x	x	x	x	x	
waterbeheersingsplan	5.000												x	x	x	x	x	x	x	x	
kavelinrichtingsplan	5.000												x	x	x	x	x	x	x	x	
boerderijverplaatsing/toedelingsplan	5.000												x	x	x		x	x	x	x	
landschapsplan	5.000												x	x	x	x	x	x	x	x	
recreatieplan	10.000												x	x	x	x	x	x	x	x	

¹⁾ grootste, bij landinrichtingsprojecten algemeen gebruikte schaal

²⁾ leverancier; eigen werk van provinciale of centrale directies van LD etc. is niet apart aangegeven

K = Kadaster L = LEI

T = Topografische Dienst S = Stiboka

C = Cultuurmaatschappijen N = nutsbedrijven

I = ICW R = RIN/CABO

³⁾ topografische kaart en terreinkaart

⁴⁾ inclusief grondwatertrappenkaart

⁵⁾ lengte- en dwarsprofielen, deflectiemetingen, verkeerstellingen

⁶⁾ lengte- en dwarsprofielen, gemalen, kunstwerken

⁷⁾ sloot- en greppelinhouden, greppelpatroon, drainage

⁸⁾ begroeiingsclassificatie, landschapskartering

⁹⁾ fietspaden, wandelpaden

*Figuur 4.1.1. Globaal relatieschema tussen de geïnventariseerde gegevens en de gebruiksdoeleinden.
(Projectgroep TINFOL, 1982)*

- Automatische datakoppeling bij interactieve grafische systemen (in kader van innovatieproject): IGS, GPPU;
- Grondwaterstromingen: HYDROPAK, HYMOS, HYDROPAR, HYMO, STATRECT, TRIST, GROMULA, FEMSAT, FLOP, FRONT, LAMOS, UNSAT, SWATRE, WAFLO, HYDRUR, MUST;
- Waterbeheersing: CONGRO, LENGLIST, KWSTAAT, SELPRO, KEEROM, TEKDWARS, TEKLENGB, SELKUN, DIWA, KUNDI, MOBES, VULAN, OLIFANT,

HYDRA, CODIGO, CORLIST, VLEK, UITVOERING, GROND, TEKDIGRO, TE-
KLENG, DIGROSEP, WATBEHEER;

- Planning, begroting en begrotingsbewaking: PIL, TALIN, FIPALIN.

Bovenstaande opsomming is niet compleet. Niet genoemd zijn bijvoorbeeld de programma's die zijn ontwikkeld in het kader van de HELP-evaluatie, zoals LEOGRAS en LEOAKKER.

4.2. Cultuurtechnische inventarisatie (CI)

4.2.1. Begrippen

Bij de Cultuurtechnische Inventarisatie worden onder andere de volgende begrippen met betrekking tot de verkaveling gehanteerd:

Kavel

Een kavel is een aaneengesloten stuk grond van een gebruiker, omgeven door grond van anderen. In dit aaneengesloten stuk grond mogen geen grenzen voorkomen als wegen, waterlopen en spoorbanen. Er wordt bovendien onderscheid gemaakt in:

- huiskavel: kavel met daarop de bedrijfsgebouwen;
- veldkavel: kavel zonder bedrijfsgebouwen; een veldschuur zonder woning van het bedrijfshoofd kan wel voorkomen.

Bedrijfskavel

Een bedrijfskavel is een aaneengesloten stuk grond van een gebruiker, omgeven door grond van anderen. In dit aaneengesloten stuk grond mogen ter plaatse voor alle landbouwverkeer overschrijdbare grenzen voorkomen als wegen, waterlopen en spoorbanen. Indien bedoelde grenzen ter plaatse onoverschrijdbaar zijn, is er sprake van meerdere bedrijfskavels. Analooeg aan kavels worden ook hier huisbedrijfskavels en veldbedrijfskavels onderscheiden.

Topografisch perceel

Een topografisch perceel is een stuk grond omgeven door kavelgrenzen en/of door duidelijke topografische grenzen als sloten, heggen, houtwallen en dergelijke.

Opmerking: een scheiding tussen twee cultuurtoestanden wordt als topografische grens beschouwd: bijvoorbeeld scheiding tussen bouwland en grasland.

Perceelsvorm

Onder de perceelsvorm wordt verstaan de vorm van een topografisch perceel. Onderscheiden zijn:

- regelmatige topografische percelen: rechthoek, parallellogram, vierhoekig perceel waarvan de lange zijden evenwijdig zijn (trapezium) en een perceel dat uit twee rechthoeken bestaat;
- onregelmatige topografische percelen: alle overige vormen.

Afstand

Aantal af te leggen lengte-eenheden (m of veelvoud van m) ten einde van een punt naar een ander punt te komen, gebruik makend van de meest voor de hand liggende route. Er is een aantal onderscheidingen gemaakt, namelijk:

- a. kavelafstand : afstand van bedrijfsgebouw tot hoofdontsluitingspunt van de kavel;
- b. afstand over de kavel: halve kaveldiepte ($1/2D$);
- c. afstand van de grond: kavelafstand + halve kaveldiepte.

Onder de kaveldiepte wordt verstaan de in rechte lijn gemeten afstand van het hoofdontsluitingspunt van de kavel tot het verste punt van de kavel.

In verband met de kwaliteit van de rijroute wordt onderscheid gemaakt tussen de werkelijke afstand en de schijnbare afstand. De werkelijke afstand dient ter bepaling van de schijnbare afstand vermenigvuldigd te worden met de volgende wegingsfactoren:

- | | |
|-------------------------------|-----|
| - verharde weg | 1,0 |
| - semi-verharde weg | 1,5 |
| - onverharde weg, land, kavel | 3,0 |
| - water | 4,0 |

Bij het berekenen van de gemiddelde afstanden wordt rekening gehouden met de grootte van de kavels, door naar oppervlakte te wegen. Zo is de "gewogen gemiddelde schijnbare afstand" de afstand uitgedrukt in m over de verharde weg, berekend door middel van wegen met de bijbehorende oppervlakte.

Een ander van belang zijnd begrip met betrekking tot afstand is de ontsluitingsafstand. Daarbij gaat het om de afstand van de kavel of de bedrijfsgebouwen tot de dichtstbijzijnde verharde weg. Deze afstand wordt veelal uitgedrukt in meters over land. De ontsluitingsafstand wordt berekend vanaf het hoofdontsluitingspunt van de kavel inclusief de halve kaveldiepte. Om de afstand uit te kunnen drukken in "meters over land" moet bij transport over semi-verharde wegen of water worden gecorrigeerd met wegingsfactoren.

Gebruikelijk zijn:

- | | |
|-------------------------------|-----|
| - semi-verharde weg | 0,5 |
| - onverharde weg, land, kavel | 1,0 |
| - water | 1,3 |

4.2.2. Beschrijving van het systeem

Het systeem van Cultuurtechnische Inventarisatie is een vastgoedsysteem ten behoeve van de landinrichting, dat beschrijft wie welke grond in gebruik heeft, wat voor grond het betreft en hoe die grond wordt gebruikt. De beschrijving heeft betrekking op het landelijk gebied en richt zich vooral op het gebruik door agrariërs, waarbij de kavel als informatie-drager dient.

De verwerkingsprocedure van het systeem is als volgt:

- verzamelen van basiskaartmateriaal onder andere topografische kaarten, kaart met wegen en waterlopen, gebruikerskaart, cultuurkaart, bodemkaart, etc.;
- invoeren van gegevens per kavel in de computer (kavelbestand). Deze gegevens betreffen onder andere het gebruikersnummer, de ligging, kaveloppervlakte, afstand van de kavel tot de dichtstbijzijnde verharde weg, etc.;
- verwerking met als resultaat een aantal tabellen, te onderscheiden in:
 - . de input, waarin opgenomen alle ingevoerde gegevens (kavelgegevens en sociaal-economische bedrijfsgegevens);
 - . een tabel bedrijfsgegevens met gegevens op bedrijfsniveau;
 - . tabellen met gegevens op gebiedsniveau.

Daarnaast wordt een aantal kaarten vervaardigd, onder andere een overzichtskaart met gebiedsbegrenzing en dorpsbehorenindeling, gebruikerskaart, gebruikerskaart met vreemd gebruik, boerderijenkaart en tevens een aantal themakaarten in kleur, te weten een bedrijfskavelkaart, een afstandenkaart en een ontsluitingskaart.

Bovenstaande beschrijving slaat op het systeem zoals dat in de zestiger jaren is ontwikkeld (zogenaamde handmatige CI). Om aan de huidige eisen, gezien de maatschappelijk en technische ontwikkelingen, te voldoen zijn bij het systeem van Cultuurtechnische Inventarisatie een aantal wijzigingen in uitvoering en presentatie doorgevoerd. De belangrijkste daarvan is de toepassing van de techniek van "digitaliseren".

Voordelen van het digitaliseren zijn onder andere: nauwkeuriger werken, een flexibele output, mogelijkheid tot bijhouden van gegevens en mogelijkheid tot het koppelen van in kaart gebrachte gegevens. Een andere wijziging in de uitvoering is de administratieve koppeling met de metellinggegevens van het CBS.

Een belangrijke ontwikkeling op het gebied van de gebruiksmogelijkheden is ontstaan door het gedecentraliseerd gebruik van gegevensbestanden, het ontwikkelen van gebruiksvriendelijke toepassingsprogrammatuur en het realiseren van flexibele in- en output. Daardoor kan de gebruiker op de provinciale kantoren naar eigen behoefte gegevens aan het systeem ontleen. Met ingang van 1985 worden alle CI's gedigitaliseerd en volgens een vaste methode opgeleverd. Voor 1985 werden de resultaten gepresenteerd in boekvorm, na 1985 op tape.

Voor het berekenen van de cultuurtechnische kengetallen is het programma FOCUS (Flexibele Output Combinaties en Uitgebreide Selectiemogelijkheden) ontwikkeld door het Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding en de Landinrichtingsdienst. Het systeem CI-FOCUS is geschikt voor interactief gebruik.

Door de Landbouwwuniversiteit Wageningen (LUW) is het programma AKCI ontwikkeld. Daarmee is het mogelijk geselecteerde gegevens uit de CI op een grafisch beeldscherm of een plotter in kaartvorm weer te geven.

4.2.3. Toepassingen

De CI wordt bij de voorbereiding van landinrichtingsprojecten gebruikt bij:

- het beschrijven van de verkaveling;
- het toedelingsonderzoek;
- de evaluatie volgens de HELP-methodiek.

Naast bovenstaande toepassingen is het systeem gebruikt voor onder andere:

- het volgordeschema voor ruilverkaveling;
- het Structuurschema Landinrichting;
- diverse aanvragen voor ruilverkaveling;
- locatie-onderzoek 2e nationale luchthaven;
- opstellen van beheersplannen in relatienotagebieden;
- tracering van de leidingstraat Antwerpen - Rotterdam.

4.2.4. Verkavelingskenmerken

Enkele belangrijke cultuurtechnische kengetallen zijn:

- aantal bedrijven;
- aantal kavels;
- oppervlakte cultuurgrond binnen het blok;
- oppervlakte cultuurgrond buiten het blok;
- gemiddelde bedrijfsoppervlakte;
- gemiddeld aantal bedrijfskavels;
- gemiddeld aantal kavels;
- % grond in huisbedrijfskavels;
- gemiddelde grootte veldkavel;
- gewogen schijnbare afstand veldkavels;
- gewogen schijnbare afstand kavels;
- gemiddelde diepte huiskavels;
- gemiddelde diepte veldkavels;
- gemiddelde perceelsoppervlakte;
- lengte/breedte verhouding percelen;
- % gebiedsoppervlakte ingenomen door bedrijven met meer dan x % van de grond in de huisbedrijfskavel.

Versnippering

- aantal kavels per bedrijf;
- aantal bedrijfskavels per bedrijf;
- oppervlakte van de huisbedrijfskavels in % van de totale oppervlakte;
- aantal topografische percelen per ha.

Topografische percelen

- aantal topografische percelen per ha;
- aantal regelmatige topografische percelen in % van het totaal aantal.

Afstand van de grond

- afstand van de grond totaal in m;
- afstand van de grond van de huisbedrijfskavels in m;
- afstand van de grond van de veldbedrijfskavels in m.

Ontsluiting van de bedrijfsgebouwen

- afstand van de bedrijfsgebouwen tot de dichtstbijzijnde verharde weg in m.

Situering van de bedrijfsgebouwen

- aantal en oppervlakte (absoluut en relatief) van bedrijfsgebouwen met de bedrijfsgebouwen in de bebouwde kom.

4.2.5. Literatuur

- Bijkerk, C en H.A. van Kleef, 1985
Informatiesystemen vastgoed in de landinrichting. Cultuurtechn. Tijdschr. 24(6):p. 379-391.
- Cultuurtechnisch Tijdschrift, 1986
Informatievoorziening en automatisering bij de Landinrichtingsdienst. Themanummer Cultuurtechn. Tijdschr. 26(2): p. 73-122.
- Dessing, N en J. van Rheenen, 1982
Praktijkrapport voorbereiding landinrichtingsprojecten, onderzoek werkwijze deeladviezen-schetsontwerp. Meded. 142, Landinrichtingsdienst, Utrecht.
- Kleef, H.A. van., 1984
Cultuurtechnische Inventarisatie voor algemene beleidsvoorbereiding. Nota 1546. Instit. voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Wageningen.
- Projectgroep Tinfo, 1982
Technisch INFOmatiesysteem Landinrichtingsprojecten, Werkplan, Landinrichtingsdienst, Utrecht.
- Thewessen, T.J.M., 1987
Automatische Kartografie van de Cultuurtechnische Inventarisatie (AKCI). Scriptie Vakgroep Cultuurtechniek / Informatica, Landbouwwuniversiteit, Wageningen.
- Wijk, C. van en Th.J. Linthorst, 1977
Cultuurtechnische Inventarisatie Nederland, methode, huidig gebruik, perspectieven. Regionale studies 12N. Instit. voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Wageningen.
- Wijk, C. van, J.M. Keestra en Th.J. Linthorst, 1979
Enkele belangrijke verkavelingskenmerken van Nederland, verzameld en bewerkt ten behoeve van het Structuurschema voor de Landinrichting. Nota 946. Instit. voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Wageningen.

5. Evaluatie van landinrichtingsprojecten

5.1. Evaluatie van landinrichtingsplannen volgens de HELP-methode

5.1.1. Begripsomschrijvingen

Evaluatie

Het begrip evaluatie wordt in het algemeen gebruikt om de waarde of de betekenis van iets aan te geven of te schatten. Bij "waarde" hoeft daarbij niet alleen aan geldbedragen te worden gedacht.

Bij de evaluatie van activiteiten, bijvoorbeeld van een of ander project worden de gevolgen van die activiteiten bepaald en wordt daaraan een waarde gehecht.

Die gevolgen zijn op een aantal manieren te benoemen:

- voor- en nadelen;
- kosten en baten;
- kosten en effecten;
- effecten.

De benaming is afhankelijk van de betekenis die men aan die begrippen hecht.

Het moment waarop geëvalueerd wordt, kan zowel voor, tijdens als na het gereedkomen van die activiteiten zijn.

Onder evaluatie van een landinrichtingsproject wordt verstaan het vooraf bepalen van de kosten en effecten van deze projecten op de doelstellingen die de overheid, als dienaar van het algemeen belang, nastreeft.

Het achteraf bepalen van de kosten en effecten wordt bij landinrichting vaak aangeduid als nacalculatie.

Bij de evaluatie van landinrichtingsprojecten wordt thans de "HELP- methode voor de evaluatie van landinrichtingsprojecten" toegepast. HELP is een afkorting van *Herziening Evaluatie Landinrichtingsplannen* (of *-projecten*). Bij deze methode wordt door de opstellers van het evaluatierapport in beginsel uitsluitend de omvang van de kosten en effecten bepaald en wordt daaraan geen "gewicht" toegekend. Het afwegen van de effecten wordt gezien als een taak van de beleidsinstanties die over de landinrichtingsprojecten moeten oordelen en beslissen.

Kosten, offers, baten, effecten

Als kosten van een landinrichtingsproject worden aangemerkt de offers die moeten worden gebracht voor het tot stand komen van de projecten en voor het functioneren daarvan. Als kosten voor een landinrichtingsproject worden gerekend overheidsinvesteringen, particuliere investeringen ten gevolge van de uitvoering van dat project en onderhouds- en beheerskosten.

De offers bestaan uit het aanwenden van produktiemiddelen (arbeid, machines) die daarvoor aan andere bestemmingen worden onttrokken, hetgeen dus een beperking betekent bij het realiseren van andere doelstellingen.

Als effecten van landinrichtingsprojecten worden aangemerkt alle positieve en negatieve gevolgen van het tot stand komen van het landinrichtingsproject, voor de realisering - of mogelijkheden daartoe - van doelstellingen van het overheidsbeleid. Tot de gevolgen rekent men zowel de bedoelde, als niet bedoelde.

Aangezien in het verleden bij veel projecten de evaluatie sterk economisch gericht was, werd meestal over kosten en baten gesproken. Omdat bij landinrichtingsprojecten veel gevolgen niet in geld zijn uit te drukken, wordt thans gesproken over kosten en effecten.

Overheidsbeleid, overheidstaken

Mensen streven naar bevrediging van wensen en behoeften. Dit gebeurt individueel of in groepsverband. Voorts zijn er doeleinden die worden nagestreefd in het kader van de bevolking als geheel door het daartoe aangewezen overheidsapparaat.

Doel van het overheidsbeleid is het dienen van het algemeen belang. Dit is een aanduiding van al die zaken, die voor en door de (Nederlandse) samenleving als geheel nuttig worden geacht.

De activiteiten van de overheid zijn te onderscheiden in twee categorieën:

- activiteiten die door hun aard aan de overheid toevallen. Individuen en groepen kunnen tegengestelde belangen hebben. Het opleggen en handhaven van gedragsnormen, daarbij rekening houdend met de belangen van toekomstige generaties, wordt gezien als een belangrijke overheidstaak;
- activiteiten die uit het oogpunt van doelmatigheid beter door de overheid kunnen worden verricht dan door individuen of bedrijven. Technische of organisatorische redenen zijn daarvan de oorzaak. Een voorbeeld daarvan is de aanleg van een autoweg.

De taak van de overheid wordt in de "HELP- methode" omschreven als het voeren van een beleid, gericht op het benaderen van een evenwicht tussen hetgeen door de Nederlandse bevolking wordt gezien als de basisdoeleinden van de samenleving, en de middelen, die voor het realiseren van deze basisdoelen ter beschikking staan; een en ander gezien op lange termijn, dat wil zeggen ook toekomstige generaties bevattend.

Autonome ontwikkeling

De autonome ontwikkeling van een gebied is datgene wat in het betreffende gebied gebeurt op de terreinen welke het landinrichtingsproject omvat, indien van de zijde van de overheid geen landinrichtingsactiviteiten worden uitgevoerd of bevorderd.

Abiotisch milieu, biotisch milieu

Onder het abiotisch milieu wordt verstaan het niet levende deel van het milieu in een gebied (bodem, water).

Onder het biotisch milieu wordt verstaan het levende deel van het milieu in een gebied (planten en dieren).

Ecosysteem, landschapsecologische deelgebieden, ecotopen

Onder een ecosysteem wordt verstaan een ingewikkeld samenstel van relaties tussen het abiotisch milieu, de plante- en diersoorten en de invloed van de mens in een gebied.

Onder landschapsecologische deelgebieden worden verstaan grotere deelgebieden die een zekere eenheid vormen wat betreft het abiotisch milieu.

Onder ecotopen worden verstaan kleinere deelgebieden met zoveel mogelijk dezelfde eigenschappen wat betreft het abiotisch milieu, de voorkomende plante- (en dier)soorten en het gebruik of beheer door de mens. Voorbeelden zijn slootkanten, bermen en houtwallen. Het zijn karteerbare eenheden.

Landschap

Onder landschap wordt verstaan het waarneembare deel van de aarde dat wordt bepaald door de onderlinge samenhang en beïnvloeding van de factoren bodem, reliëf, water, klimaat, flora, fauna en de mens.

5.1.2. Doel van evaluatie

Ten aanzien van het investeren in landinrichtingsprojecten kunnen onder andere de volgende vragen worden gesteld:

- a. is het een overheidstaak;
- b. zo ja, hoeveel geld wil de overheid erin investeren;
- c. welke doelstellingen wil men daarmee realiseren;
- d. wie is er betrokken bij de besluitvorming;
- e. welke rol speelt evaluatie bij de planvorming en de besluitvorming.

In antwoord op die vragen kan het volgende worden gesteld.

ad a.

In Nederland wordt landinrichting al geruime tijd gezien als een overheidstaak. Al in het begin van deze eeuw heeft dat geleid tot wetgeving en het vaststellen van jaarlijkse budgetten voor het verstrekken van subsidies.

ad b.

Voor een deel heeft de besluitvorming over landinrichting en de daarmee gemoeide bedragen een politiek karakter, waarbij de kosten en effecten van landinrichting worden afgewogen tegen doelstellingen met bijbehorende kosten en effecten van andere beleidsterreinen. Het bedrag dat jaarlijks voor landinrichting beschikbaar wordt gesteld is dientengevolge afhankelijk van politieke beslissingen.

ad c.

De doelstellingen die men wil realiseren veranderen in de loop van de tijd. Algemene doelstellingen die men via landinrichting wil realiseren zijn vastgelegd in het Structuurschema Landinrichting (*Ministerie van Landbouw en Visserij, Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke ordening en Milieuhygiëne*, 1985). Deze doelstellingen worden nader

uitgewerkt in de deeladviezen die voorafgaand aan het opstellen van de plannen voor de verschillende landinrichtingsprojecten worden gemaakt. In geval van tegenstrijdige doelstellingen worden keuzes gemaakt. Aan deze doelstellingen worden de plannen later getoetst.

ad d.

Op meerdere tijdstippen tijdens de voorbereiding vindt meningsvorming en besluitvorming plaats. Hierbij zijn diverse instanties en personen betrokken, die vanuit verschillende invalshoeken de te ontwikkelen, c.q. ontwikkelde plannen bekijken. Genoemd kunnen worden de Landinrichtingscommissie, diverse ambtelijke diensten, de Centrale Landinrichtingscommissie, de besturen van provincies, gemeenten, waterschappen en recreatieschappen, natuurbeschermingsorganisaties, standsorganisaties, particuliere belanghebbenden (in het bijzonder de grondeigenaren en pachters) en anderen. Voor de besluitvorming is een ingewikkeld stelsel van spelregels ontwikkeld dat voor een belangrijk deel in de Landinrichtingswet is vastgelegd.

ad e.

Bij de menings- en besluitvorming kan een evaluatierapport een belangrijk hulpmiddel zijn. De vraag, waarom plannen worden geëvalueerd, heeft te maken met een keuze- en verantwoordingsprobleem bij het doen van investeringen door de overheid en particulieren. Binnen de overheid als totaliteit moeten de beperkte middelen zodanig worden verdeeld dat de meeste baten, in welke vorm dan ook, worden verkregen. Gezien de beperkte middelen ten opzichte van de in beginsel onbeperkte vraag naar allerlei diensten en dergelijke van de overheid, moeten keuzen worden gemaakt.

Aan evaluatie kunnen twee functies worden toegekend, namelijk een externe en een interne.

Over de externe functie kan het volgende worden opgemerkt. Door bepaling van kosten en effecten van landinrichtingsprojecten kan een inzicht worden verkregen in de betekenis van deze projecten voor de betrokkenen en voor de Nederlandse volkshuishouding als geheel. Daardoor wordt het beter mogelijk de vraag te beantwoorden of de effecten zodanig zijn dat ze de gemaakte kosten rechtvaardigen, in het bijzonder vanuit het gezichtspunt van de volkshuishouding als geheel. Gezien de vele en nogal eens tegenstrijdige doelstellingen die men wil realiseren en de grote bedragen die met landinrichting zijn gemoeid, krijgt evaluatie daarmee een betekenis van externe verantwoording van de voorgenomen investeringen. Gezien de grote behoefte aan ruilverkaveling in gebieden verspreid over heel Nederland maakt evaluatie van de plannen een urgentiebepaling mogelijk.

Daarnaast heeft evaluatie een interne betekenis in het stadium van het opstellen van plannen en planalternatieven. Bij het zoeken naar de beste oplossing voor een probleem kan evaluatie een welkom hulpmiddel zijn. In dat verband wordt gesproken van evaluerend ontwerpen. Dit is de werkwijze waarbij mede via de evaluaties van planalternatieven geleidelijk wordt gewerkt in de richting van het meest gunstige plan voor het project. Door de groeiende behoefte aan een methode om vooraf de effecten te kunnen beschrijven is de HELP-methode ontwikkeld. Kort samengevat is het doel ervan te komen tot een een-

voudige, systematische, uniforme en zo objectief mogelijke bepaling van de te verwachten kosten en effecten van een plan en/of alternatieven daarvan als hulpmiddel bij het beoordelen van en beslissen over landinrichtingsprojecten.

5.1.3. Ontstaansgeschiedenis van de HELP-methode

Voor een groot deel zijn de overwegingen om te komen tot een zorgvuldige evaluatie van landinrichtingsplannen niet nieuw. Er heeft altijd wel een of andere vorm van evaluatie plaatsgehad.

Ruilverkaveling is in Nederland slechts langzaam van de grond gekomen. De totstandkoming van de eerste ruilverkavelingswet (1924) is nogal omstreken geweest. Er was nogal wat weerstand tegen die ruilverkavelingswet. De daarin opgenomen bepaling dat de ruilverkaveling wordt uitgevoerd bij een meerderheid van stemmen ging in tegen heersende opvattingen over contractvrijheid en eigendomsrecht. De vraag was toen actueel of ruilverkaveling al dan niet een overheidstaak behoorde te zijn. Voorts werden er vraagtekens gezet bij het economisch nut van ruilverkavelingen. De theorie over de bepaling van het economisch nut was omstreken (*Van den Noord*, 1985).

Het aantal ruilverkavelingen is tussen 1924 en 1954 slechts langzaam toegenomen. Pas na het van kracht worden van de ruilverkavelingswet van 1954 is er sprake van een sterke groei van het aantal aanvragen. Daarmee groeide tevens de behoefte om te komen tot een systematische evaluatie van ruilverkavelingen.

In 1958 verscheen het "Meerjarenplan voor Ruilverkaveling en andere Cultuurtechnische werken in Nederland" (*Centrale Cultuurtechnische Commissie*, 1958). In dit meerjarenplan wordt als criterium ter beoordeling van de bedrijfseconomische aspecten van ruilverkavelingen het investeringseffect geïntroduceerd. Dit is het quotiënt van de jaarlijkse baten van de ruilverkaveling voor de landbouw en de aan die baten ten grondslag liggende overheidsinvestering. Dit investeringseffect plus nog een aantal maatschappelijke factoren moesten dienen tot het bepalen van de urgentie van een ruilverkaveling.

In 1962 verscheen het "Rapport van de Werkgroep Toepassing en Uitwerking Methodiek Meerjarenplan", kortweg aangeduid als het TUMM-rapport (*Werkgroep Toepassing en Uitwerking Methodiek Meerjarenplan*, 1962), waarin het investeringseffect verder werd uitgewerkt tot het voornaamste criterium bij de evaluatie van ruilverkavelingen. Vanaf 1962 werd voor elke ruilverkaveling het investeringseffect berekend.

Drie ontwikkelingen in de laatste jaren hebben een meer systematische en vooral meer omvattende evaluatie noodzakelijk gemaakt.

In de eerste plaats de ontwikkeling van de overheidsuitgaven, die een voortdurend toenemend beslag legden op het nationaal inkomen.

In de tweede plaats de stijgende betekenis, die vanuit de maatschappij werd toegekend aan niet-economische waarden als natuur- en landschapsbescherming en dergelijke. In toenemende mate werden in ruilverkavelingsplannen niet-agrarische doelstellingen opge-

nomen. Dit toenemend aantal doelstellingen ging gepaard met diverse ingrijpende maatregelen van een aanzienlijke omvang, hoge kosten en een groot aantal effecten. Steeds meer personen, waaronder de plaatselijke bevolking werden bij de voorbereiding en het nemen van beslissingen betrokken. Daardoor was het niet mogelijk te blijven volstaan met een enkelvoudig criterium zoals het investeringseffect.

In de derde plaats waren er ook andere bezwaren tegen het TUMM-systeem opgetreden, die een voortgezet gebruik hiervan minder wenselijk maakten. Het systeem beperkte zich in de praktijk tot de economische aspecten van het plan en bovendien was een groot aantal normen die bij de berekening van het investeringseffect werden gebruikt achterhaald door nieuwe onderzoeksresultaten.

Een en ander heeft geleid tot het in 1972 instellen van de Werkgroep Herziening Evaluatie Landinrichtingsplannen (HELP) door de directeur van de toenmalige Cultuurtechnische Dienst. In 1978 kwam haar rapport "Methode voor de evaluatie van Landinrichtingsplannen" tot stand (*Werkgroep Herziening Evaluatie Landinrichtingsplannen*, 1978). Dit rapport wordt aangeduid als het "HELP-rapport 1978". De methode is vervolgens door de Subcommissie Invoering Evaluatiesysteem uitgetest in de proefgebieden Velden, Sauwerd en Eemland.

In 1982 verscheen "Het advies inzake de evaluatie van landinrichtingsprojecten" van de Centrale Cultuurtechnische Commissie aan de Minister van Landbouw en Visserij (*Centrale Cultuurtechnische Commissie*, 1982). Deze stemde in met het advies.

Op een aantal plaatsen is het HELP-rapport uit 1978 inmiddels verouderd. Inmiddels werd gewerkt aan een verbeterde versie. In 1983 en 1984 verscheen "De HELP-methode voor de evaluatie van landinrichtingsprojecten" in twee delen, te weten "Beschrijving en verantwoording" (*Landinrichtingsdienst*, 1983) en "Toelichting en Uitwerking" (*Landinrichtingsdienst*, 1984). De publicatie wordt dikwijls kort aangeduid als "de HELP-methode". Voor een praktische toepassing wordt verwezen naar die publicaties en naar enkele vervolgpublishaties. Voorts is er een aantal andere publicaties over de methode verschenen (onder andere *Bosma*, 1986).

Aan een verdere uitwerking en verbetering van delen van de methode wordt gewerkt. Als redenen voor het voortdurende aanpassen van de methode kunnen worden genoemd:

- er zijn nog lacunes. Voor een aantal onderdelen is het nog niet of niet goed mogelijk de effecten aan te geven; wellicht is dat in de toekomst wel mogelijk;
- de methode verouderd ten gevolge van nieuwe opvattingen en nieuw onderzoek;
- cijfermatige normen veranderen, bijvoorbeeld door geldontwaarding.

Sinds 1982 wordt de methode toegepast op alle in voorbereiding zijnde landinrichtingsplannen. In de Landinrichtingswet (*Kramer*, 1985) is de HELP-methode wettelijk voorgeschreven. Ook in het Structuurschema Landinrichting (1985) wordt er naar verwezen.

5.1.4. Inbouw van de evaluatie in de planvoorbereiding

Wil een evaluatie van belang zijn voor het project, waarop deze betrekking heeft, dan moet deze evaluatie worden uitgevoerd in een vroeg stadium van de planvoorbereiding. Het is dan nog mogelijk het plan bij te stellen als dat nodig mocht blijken. Ook is het dan mogelijk gefundeerd te kiezen uit alternatieven (interne betekenis).

Een evaluatie kan ook worden uitgevoerd als een plan gereed is. De laatste evaluatie heeft ten behoeve van de planvorming geen betekenis meer, maar is een verantwoording naar buiten. Daarmee wordt aangetoond, dat de betreffende overheidsmiddelen en de bijdragen van belanghebbenden op verantwoorde wijze worden besteed (externe betekenis). In verband hiermee is de inpassing van de HELP-procedure in de voorbereiding op een aantal plaatsen verplicht gesteld:

- bij het schetsontwerp;
- bij het in de inspraak te brengen voorontwerp;
- bij het ontwerpprogramma, ofwel bij vereenvoudigde voorbereiding bij het ontwerpplan en zonodig in een vroeger stadium van de planvoorbereiding.

In de praktijk wordt het evaluatierapport opgesteld door de Landinrichtingsdienst. De onderzoeksingenieur is provinciaal coördinator van de evaluatie.

Aan een evaluatie na uitvoering van een plan (nacalculatie), is men tot dusverre nauwelijks toegekomen. Genoemd kunnen worden de volgende nacalculaties: Waarland (1957), Borger (1965), Broekhuizen (1974), Linde-Zuid (1978), Midden-Scheemda (1978), Zieuwent-Harreveld (1980) en Sleenerstroom (1981).

Voorts is van belang het rapport "Technische en sociale evaluatie van een aantal ruilverkavelingen" van de *Werkgroep Evaluatie Ruilverkavelingen* (1976).

Na de uitvoering is evaluatie voor dat plan nauwelijks meer van belang. Mocht immers blijken, dat de met dat plan gerealiseerde effecten te laag zijn om de gedane uitgaven te rechtvaardigen, dan is het toch niet meer mogelijk om de uitgaven ongedaan te maken. Dergelijke nacalculaties zijn echter wel degelijk van belang; vooral voor toekomstige planvorming in andere gebieden. Vergelijking van de werkelijke effecten van een plan met de voorspelde effecten kunnen aanleiding zijn tot verbetering van het inzicht in het verband tussen de inhoud van het plan en de daarmee te realiseren effecten. Daardoor kunnen zowel plannen als de bijbehorende evaluaties worden verbeterd.

5.1.5. Uitgangspunten van de HELP-methode

Aan de HELP-methode ligt een aantal uitgangspunten ten grondslag:

- Men gaat uit van de gedachte dat de overheid dienaars is van het algemeen belang. Het is haar taak te trachten de effecten van een landinrichtingsplan zo volledig mogelijk te bepalen, waarbij alle voor- en nadelen zo goed mogelijk op een rij worden gezet, zodat de goede beslissing kan worden genomen over het al dan niet doorgaan van het project.

- In de HELP-methode wordt gestreefd naar een nationaal-economische benadering van de invloed van een landinrichtingsproject op de goederenstroom in de Nederlandse volkshuishouding. In de begroting van een landinrichtingsproject staat een aantal posten, dat op deze goederenstroom geen invloed heeft, omdat zij niet leiden tot toename of afname van deze stroom goederen en diensten, doch vertegenwoordigen slechts een overdracht van het Rijk naar anderen. Deze posten, de zogenaamde overdrachtsuitgaven zijn voor een nationaal-economische effectbepaling niet-relevant. Het gaat onder andere om kosten voor grondaankopen en afkoop toedelingsrechten.
- Bij de evaluatie geschiedt in principe vanuit nationaal gezichtspunt. Het gaat om het nut van het totale project voor de Nederlandse volkshuishouding. Uit dat gezichtspunt is het niet interessant hoe de inkomensverdeling in het gebied er na afloop van het project uitziet. Aangezien echter ook de belanghebbenden in de streek sterk worden betrokken bij de planvorming en in geval van stemming over het plan ook bij de besluitvorming, is de presentatie van de evaluatie meestal zodanig dat de gevolgen voor de streek en groepen belanghebben worden aangegeven. De evaluatie kan daarom in de praktijk zowel als een nationaal-economische, als een regionaal-economische evaluatie worden gezien.
- Bij voorbaat is het duidelijk dat het onmogelijk is alle effecten te voorspellen gezien het grote aantal doelstellingen van landinrichtingsprojecten. Zelfs al zou het lukken om de omvang van elk van de effecten te voorspellen, dan nog is het moeilijk om een keuze te maken. Immers de effecten zijn zeer verschillend van aard en niet alle in dezelfde eenheid (bijvoorbeeld geld) uit te drukken.
 Bij het opzetten van de methode heeft men eerst wel de bedoeling gehad om alles op één noemer te brengen, maar daar is men al snel van afgestapt, omdat dit een onmogelijke zaak bleek. Thans probeert men per effect de meest geschikte eenheid te vinden om de gevolgen aan te geven. Sommige effecten kunnen in guldens worden uitgedrukt, andere in uren, in aantallen vogels en dergelijke. Andere effecten kunnen zelfs niet kwantitatief worden beschreven, maar zullen in kwalitatieve termen als "groter dan", "gelijk aan" of "kleiner dan" worden aangeduid. Daaruit volgt dat de evaluatie niet kan leiden tot een eenduidige uitspraak over de wenselijkheid van uitvoering van een plan. Dat blijft een beleidsbeslissing. De evaluatie draagt slechts gegevens aan om deze beleidsbeslissing zo goed mogelijk te kunnen onderbouwen.
- Degenen die over de plannen moeten oordelen, vormen een zeer divers gezelschap. Aan de presentatie van de HELP-evaluatie wordt daarom de eis gesteld, dat deze ook voor niet-deskundigen begrijpelijk en doorzichtig moet zijn.
- Bij de HELP-methode wordt het "with-and-without"-principe gehanteerd. De baten van een landinrichtingsplan lopen namelijk over een lange periode. In deze periode zouden ook zonder landinrichtingsplan veranderingen optreden. Deze effecten worden niet door het landinrichtingsplan veroorzaakt en mogen daaraan dan ook niet worden toegeschreven. Getracht wordt de effecten van het landinrichtingsplan te meten door een vergelijking van de ontwikkeling bij uitvoering van het plan met de autonome ontwikke-

ling, die zou zijn te verwachten als het landinrichtingsplan niet zou worden uitgevoerd. Er moeten dus twee prognoses worden gemaakt voor het gebied, één met en één zonder uitvoering van het plan.

Men dient de situatie te vergelijken op eenzelfde tijdstip. Men kiest meestal het tijdstip "10 jaar na nu". Dat tijdstip tien jaar na nu wordt ook wel als het tijdstip "nul" aangeduid. Er wordt van uitgegaan dat tussen nu en het tijdstip nul de investeringen plaatsvinden en dat daarna de effecten zullen optreden. Ter vereenvoudiging gaat men er voor de economische aspecten van uit dat alle investeringen worden uitgevoerd op dat tijdstip nul en dat de baten ten opzichte van het nulplan gedurende een periode van 30 jaar daarna constant blijven.

- Bij de investeringen rekent men behalve de door de overheid geïnvesteerde bedragen ook de met het plan samenhangende particuliere investeringen mee. Voorbeelden van particuliere investeringen zijn die voor kavelverbetering, boerderijverplaatsing en modernisering.
- Bij de HELP-methode worden in principe alleen de directe effecten in beschouwing genomen. De effecten die ten gevolge van produktieverhoging en kostenverlaging in de landbouw ontstaan bij de toeleverende, verwerkende en verzorgende bedrijvigheid, de zogenaamde indirecte effecten, worden niet meegenomen.

5.1.6. De in beschouwing te nemen effecten

De doelstellingen en effecten van landinrichting zijn zoals gesteld velerlei. Alle effecten in beeld brengen is ondoenlijk. In het "HELP-rapport 1978" was aangegeven aan welke overheidsdoelstellingen het plan getoetst zou worden. In de praktijk bleek dat deze doelstellingen niet als evenwichtig konden worden beschouwd. Ze waren van verschillende orde. In daarna verschenen "HELP-methode" (1983,1984) worden geen expliciet geformuleerde doelstellingen meer aangegeven, doch uitsluitend de in beschouwing te nemen effecten. In de huidige evaluatierapporten wordt overigens wel aangegeven welke doelstellingen die in het Structuurschema Landinrichting zijn vermeld, voor het betreffende landinrichtingsgebied van belang zijn.

Bij het aangeven van de effecten wordt de werkelijkheid in sterke mate vereenvoudigd. Zo wordt bijvoorbeeld het economisch effect voor de landbouw weergegeven door de verandering in de arbeidsopbrengst op de bedrijven in het gebied. Deze effecten zijn zo gekozen dat ze tevens te beschouwen zijn als indicatoren voor een breder spectrum van niet bepaalde effecten.

De in beschouwing te nemen effecten zijn:

veranderingen in de gesteldheid van:

- water;
- bodem;
- lucht;

economische effecten:

- baten landbouw: nationaal-economisch en bedrijfseconomisch;
- mutaties onderhoudskosten wegen en waterlopen;

sociale effecten:

- vrijkomende uren;
- werkgelegenheid;
- mogelijke openluchtrecreatie;
- werk- en leefomstandigheden;
- bereikbaarheid;
- verkeersveiligheid;

effecten op natuur en landschap:

- verscheidenheid in levensgemeenschappen, plante- en diersoorten;
- visueel-ruimtelijk;
- historisch-geografisch;
- landschapscultuurkundig aspect van de landschapsecologie;

Wanneer in een project nog andere effecten van belang zijn, kan deze opsomming daarmee worden aangevuld. Omgekeerd, wanneer in een project een bepaald effect zich nauwelijks voordoet of geen rol speelt, kan dit effect buiten beschouwing worden gelaten. Het is immers van belang, dat de evaluatie in kort bestek en in eenvoudige taal zoveel mogelijk relevante informatie geeft.

In bovenstaande opsomming worden ook effecten genoemd waarvan de bepaling nog niet mogelijk is of waarvan de bepaling nog duidelijk in ontwikkeling is.

In het onderstaande zal een korte toelichting worden gegeven bij de te bepalen effecten.

5.1.7. Veranderingen in de gesteldheid van water, bodem en lucht

In het "HELP-rapport 1978" was geen effectbeschrijving op de gesteldheid van de factoren water, bodem en lucht opgenomen. Mede in verband met de discussies over milieu-effectrapportage (MER) en de eventuele toepassing daarvan op landinrichtingsplannen is de ontwikkeling van een evaluatiemethode voor deze factoren tot ontwikkeling gekomen. De Werkgroep Water, Bodem en Lucht publiceerde in 1983 het rapport "Voorspelling van de effecten van Landinrichting op water, bodem en lucht. Eindrapport Fase 1". (*Werkgroep Water, Bodem en Lucht*, 1983). In 1987 verscheen het eindrapport "Voorspellingen van de veranderingen in de gesteldheid van water, bodem en lucht als gevolg van landinrichting" (*Werkgroep Water, Bodem en Lucht*, 1987).

Alle evaluatierapporten die sinds de vervanging op 15 oktober 1985 van de Ruilverkavelingswet 1954 door de Landinrichtingswet zijn verschenen, bevatten een hoofdstuk "Effecten op de gesteldheid van water, bodem en lucht".

De regering heeft in 1985 besloten dat landinrichtingsprojecten voorlopig niet m.e.r.-plichtig zullen zijn.

Onder de gesteldheid van water, bodem en lucht worden volgens het eindrapport zowel de kwaliteits- als de kwantiteitsaspecten van het voorkomen van deze abiotische milieu-componenten verstaan.

Landinrichtingsplannen voorzien in inrichtingsmaatregelen, die wijzigingen in deze factoren teweeg zullen brengen. Echter ook zonder uitvoering van landinrichtingsplannen zal de gesteldheid van water, bodem en lucht veranderen. Voorbeelden van externe factoren die invloed hebben op het abiotisch milieu zijn de invoering van de Meststoffenwet, de Wet Bodembescherming, wijziging in het grondgebruik als gevolg van de superheffing en de aanleg van rioolzuiveringsinstallaties.

In de evaluatierapporten worden de veranderingen als resultante van de autonome ontwikkeling versus planontwikkeling beschreven. Het is voor een beter begrip van de autonome ontwikkeling en het plan soms ook wenselijk de huidige situatie te beschrijven.

Sommige effecten van landinrichtingsplannen kunnen rechtstreeks worden bepaald. Met de term "rechtstreeks" wordt bedoeld, dat de effecten kunnen worden bepaald, zonder dat het noodzakelijk is eerst na te gaan welke veranderingen in de gesteldheid van water, bodem en lucht als gevolg van landinrichting optreden. Zo is bijvoorbeeld het aanbrengen van beplanting in een wegberm rechtstreeks van belang voor de landschapsbeleving door de mens.

De bepaling van een andere groep effecten kan niet rechtstreeks geschieden, maar loopt als het ware via een water-, bodem- en lucht-evaluatie. Nadat de veranderingen daarin zijn bepaald, kunnen ze verder worden vertaald in economische en sociale effecten en effecten op natuur en landschap. Een voorbeeld daarvan is een wijziging in de kwalitatieve watervoorziening. Deze zal via zijn invloed op de groeimogelijkheden van allerlei gewassen van grote betekenis kunnen zijn op de economische functie (productie van land- en tuinbouwgewassen of hout), de natuurfunctie (voorkomen van planten en dieren), de landschappelijke functie en andere.

De beschrijving van de veranderingen nemen in het evaluatierapport een belangrijke plaats in. De beschrijving is enerzijds te zien als een nadere uitwerking van de planbeschrijving en anderzijds als een uitgangspunt voor de effectenbepaling.

In het evaluatierapport worden alleen relevante effecten weergegeven. Van geval tot geval moet worden bekeken welke veranderingen tot relevante effecten leiden voor de verschillende functies in het gebied. In het evaluatierapport wordt per abiotische component (water, bodem, lucht) aangegeven welke aspecten wel en welke niet zijn bekeken.

De resultaten van de voorspelling van de effecten dienen bij voorkeur reproduceerbaar te zijn, hetgeen de objectiviteit van de voorspellingsmethode bevordert. Dit houdt in dat er een eenduidig verband tussen de ingreep en de voorspelde verandering dient te bestaan. Elke voorspellingsmethodiek die dit verband eenduidig vastlegt wordt in het eindrapport van de *Werkgroep Water, Bodem en Lucht* (1987) gedefinieerd als een techniek. Een techniek in deze betekenis kan bestaan uit een verzameling tabellen of grafieken, eenvoudige analytisch of stochastisch afgeleide formules of uit al dan niet complete numerieke oplossingsmethoden.

Ook al wordt de voorkeur uitgesproken voor dergelijke technieken, daarmee wordt het gebruik van voorspellingsmethodieken uitgaande van schatting op grond van deskundigheid of ervaring, de zogenaamde "ervarings- en deskundigheidsmethoden" niet afgewezen.

Er zijn de afgelopen jaren methoden en technieken ontwikkeld om de gevolgen van de ingrepen te kunnen voorspellen. De *Werkgroep Water, Bodem en Lucht* (1987) geeft in haar eindrapport een beknopt overzicht van een aantal technieken. Per voorspellingstechniek of groep van verwante voorspellingstechnieken is aangegeven welke veranderingen er mee kunnen worden voorspeld en welke gegevens nodig zijn voor de toepassing van de techniek. De methode geeft zeer beknopt de wijze weer, waarop een techniek functioneert. Omdat een techniek een vereenvoudiging is van de werkelijkheid, liggen hieraan meestal diverse aannamen ten grondslag. Die worden in voornoemd rapport aangegeven. Onder benodigde middelen is in tabelvorm aangegeven welke inspanningen men zich moet getroosten om de benodigde gegevens te verzamelen en de techniek toe te kunnen passen. Voor de daadwerkelijke toepassing van de techniek wordt verwezen naar de "bronnen".

In het evaluatierapport kunnen ten aanzien van de veranderingen als gevolg van het plan de volgende onderwerpen aan de orde komen.

- *Kwantiteit van grond- en oppervlaktewater*, onder andere:
beschikbaar bodemvocht, grondwaterstanden, grondwaterfluctuaties, grondwaterduurlijnen, patroon en intensiteit van kwel en wegzijging, peil en dieptes van oppervlaktewater, stroomsnelheid en stroomrichting van grond- en oppervlaktewater, dwars- en lengteprofielen van waterlopen.
- *Kwaliteit van grond- en oppervlaktewater*, onder andere:
electrisch geleidingsvermogen, zuurgraad, (relatief) calciumgehalte, concentraties van bicarbonaat, stikstof, fosfaat, sulfaat, (zware) metalen, chloride, organische microverontreinigingen.
- *Bodem*, onder andere:
microgradiënten, draagkracht, bewerkbaarheid, maaiveldddaling, profielopbouw, lucht-, vocht- en warmtehuishouding, erosiegevoeligheid, fosfaat, sulfaat, (zware) metalen, organische microverontreinigingen.
- *Lucht*, onder andere:
stank, geluid, temperatuur-, vocht- en luchtverdeling.

In de praktijk wordt het brede scala van hierboven genoemde onderwerpen meestal beperkt tot een beschrijving van de ontwateringssituatie, de waterkwaliteit en de bodemkwaliteit.

5.1.8. Economische effecten

Berekening van de effecten voor de landbouw en de onderhoudskosten van wegen en waterlopen.

Voor het bepalen van de economische effecten zijn vanaf omstreeks 1975 twee methoden in ontwikkeling, waarmee de invloed van de verkaveling op de bedrijfsvoering en de bedrijfsuitkomsten kan worden bepaald.

Op het Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding is de methode AGREVAL ontwikkeld voor de rundveehouderij en de akkerbouw (*Reinds en Righolt, 1977*). AGREVAL is een afkorting van AGRarische EVAluatie Landinrichtingsplannen. Ten behoeve van het onderwijs aan de Landbouwniversiteit is het programma uitgebreid beschreven door *Sparenburg (1985)* en meer gebruikersvriendelijk gemaakt door Van der Knaap. Parallel aan de ontwikkeling bij het Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding kwamen bij de Landinrichtingsdienst een andere methode tot stand. Voor de rundveehouderij werd het computerprogramma LEOGRAS ontwikkeld (*Pronk, 1983* en *De Boer, 1982*). Voor de akkerbouw kwam het programma LEOAKKER tot stand (*Tanis, 1984* en *Wiegel, 1983*). Voor de vollegrondstuinbouw werd op basis van het programma VOGEL van het Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding (*Vink, 1980*) bij de Landinrichtingsdienst het programma LEOTUIN gemaakt (*Wiegel, 1984*). Voor de tuinbouw onder glas is het programma KASVORM in ontwikkeling.

Bij de toepassing van de programma's wordt gebruik gemaakt van taaktijdenprogramma's van het IMAG (*Instituut voor Mechanisatie, Arbeid en Gebouwen, 1976*) en van gegevens van het Proefstation voor de Rundveehouderij (PR) en het Proefstation voor de Akkerbouw en de Groenteteelt in de Vollegrond (PAGV). Voorts worden lineaire programmeringsprogramma's toegepast. Voor de rundveehouderij wordt veelvuldig gebruik gemaakt van het programma B.B.P.R., een door het Proefstation voor de Rundveehouderij ontworpen programma, waarmee een saldoberekening kan worden uitgevoerd.

In het oorspronkelijke HELP-rapport werden beide methoden genoemd. Aangezien het streven er op is gericht een uniforme methode voor de evaluatie van alle Landinrichtingsplannen toe te passen moest er worden gekozen. De keuze is gevallen op het systeem dat bij de Landinrichtingsdienst is ontwikkeld. Sindsdien wordt het programma AGREVAL alleen gebruikt voor speciale studies en voor onderwijsdoeleinden.

De economische effecten worden bepaald voor de landbouw, terwijl voorts de mutaties in de onderhoudskosten voor wegen en waterlopen worden berekend.

De economische effecten in de landbouw worden afgemeten aan de toename van de arbeidsopbrengst. Dat is datgene wat resteert wanneer van de bruto opbrengst alle kosten worden afgetrokken, behalve die van de arbeid van de boer en zijn gezinsleden. Daarbij wordt gerekend met de prijzen zoals de boer deze ontvangt.

Bij de HELP-methode wordt uitgegaan van de gedachte dat een investeringsproject als een landinrichtingsproject moet leiden tot zodanige verbetering van de produktieomstandigheden, dat het saldo van bruto opbrengsten en kosten stijgt. De bruto opbrengsten geven de maatschappelijke waardering voor de produktie aan.

Het bepalen van de economische effecten in de landbouw geschiedt aan de hand van een beperkt aantal bedrijfsmodellen, die de agrarische bedrijvigheid in het gebied zo goed mogelijk karakteriseren. Het is ondoenlijk voor alle individuele bedrijven in een gebied de effecten aan te geven. Door streekkenners wordt zo goed mogelijk aangegeven hoe de structuur van de huidige landbouw is, welke ontwikkelingen er in de autonome situatie te verwachten zijn en hoe de landbouw zich zal ontwikkelen na uitvoering van het plan. Met behulp van gegevens van het Instituut voor Mechanisatie, Arbeid en Gebouwen (IMAG) wordt de arbeidsbehoefte met en zonder het plan uitgerekend. Voorts wordt de arbeidsopbrengst voor elk van de bedrijfsmodellen met en zonder het plan bepaald. De arbeidsbehoefte en de arbeidsopbrengst voor alle bedrijfsmodellen met de bijbehorende oppervlaktes wordt getotaliseerd om de effecten voor de landbouw aan te geven. Het bepalen van de autonome ontwikkeling voor een gebied is een uitermate moeilijke zaak. Eén van de vragen die bijvoorbeeld beantwoord moet worden, is of er in de autonome ontwikkeling wel of geen kavelruil zal plaatsvinden, en zo ja waar en in welke mate. Ook het inschatten van de toekomstige situatie na uitvoering van het plan is moeilijk. Aanpassing van boer en tuinder aan de nieuwe situatie is sterk afhankelijk van de kwaliteiten van de ondernemer. Bovendien maken externe factoren het onmogelijk een exacte inschatting te maken van de ontwikkelingen gedurende de aangenomen levensduur van het project (30 jaar na uitvoering van de werkzaamheden).

Over het algemeen wordt in landinrichtingsprojecten verbetering aangebracht in de factoren verkaveling, ontsluiting en waterbeheersing.

Verbetering van de verkaveling en ontsluiting

Verbetering van de verkaveling en ontsluiting leidt meestal tot vermindering van het benodigd aantal arbeidsuren en van de werktuigkosten. De verbeteringen van deze produktiefactoren leiden nogal eens tot een modernisering van de bedrijfsvoering. Op rundveehouderijbedrijven blijkt dat uit de bouw van een ligboxenstal en op akkerbouwbedrijven uit een intensiever bouwplan.

Verbetering van de bereikbaarheid van woningen, bedrijfsgebouwen en kavels is te realiseren door het verbeteren van het wegennet. Ook in verband met verkeerskundige of constructieve overwegingen kan het gewenst zijn het wegenstelsel aan te passen.

In de praktijk betekent de verbetering van de ontsluiting een aanzienlijke kostenpost op de begroting. Deze kosten worden veroorzaakt door een aantal functies van het gebied, zoals landbouw, recreatie, wonen. Van de verbetering van het wegenstelsel is wel de totale omvang te bepalen maar de toedeling van de kosten over de verschillende functies is min of meer arbitrair omdat een weg meestal ten dienste staat van meerdere functies. Over de toedeling van de kosten zijn afspraken gemaakt.

Het aangeven van de effecten van een betere ontsluiting en de kwantificering daarvan levert ook nogal wat problemen op. Een gedeelte van de effecten wordt gekwantificeerd in de economische berekeningen ten behoeve van de land- en tuinbouwbedrijven.

Effecten op natuur en landschap en de sociale effecten, zoals verbetering van de bereikbaarheid en verkeersveiligheid, worden in de betreffende paragrafen van het evaluatierapport in kwalitatieve zin opgenomen.

In de HELP-methode wordt niet veel aandacht besteed aan het bepalen van de kwantitatieve effecten van voorzieningen die aan het wegennet in een landinrichtingsgebied worden getroffen. Volgens de HELP-methode worden het economisch effect van afstandsverkortings voor het landbouwbedrijfsverkeer en een benadering van de onderhoudskosten van wegen berekend.

Voorts wordt een aantal effecten in kwalitatieve zin weergegeven:

- de verkeersveiligheid kan worden bevorderd door onder andere het aanleggen van fietspaden en het wijzigen of opheffen van gevaarlijke kruisingen;
- de verbetering van de wegkwaliteit heeft een positieve invloed op het rijcomfort.

Door de Landinrichtingsdienst en het Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding is in de "Werkgroep Evaluatie Wegenplannen" samengewerkt om de methode voor de wegenevaluatie concreter uit te werken. Er wordt gezocht naar rekenmethoden om effecten als verkeersonveiligheid, tijdskosten voor het verkeer, exploitatiekosten van de voertuigen en het opheffen van de B-status van wegen ook in geld uit te drukken. De werkgroep komt in een concept "Handleiding toepassing methode wegenevaluatie" (*Werkgroep Evaluatie Wegenplannen*, 1986) met het voorstel per wegvak en per planvariant de baten te berekenen. Zij onderscheidt de volgende batenposten:

- kostenverschil constructieve instandhouding van de weg;
- kostenverschil onderhoud verharding;
- kostenverschil onderhoud bermen;
- verschil in tijdskosten van weggebruikers;
- verschil in exploitatiekosten van voertuigen;
- kostenverschil verkeersongevallen.

De methode wordt uitgetest in een aantal proefgebieden. Tot de invoering van de methode worden voorlopig als economische batenposten alleen de mutaties in de onderhoudskosten van de wegen en de waterlopen opgevoerd. De mutaties ten opzichte van de autonome ontwikkelingen zijn slechts normatief te benaderen.

Verbetering van de waterbeheersing

Verbetering van de waterbeheersing kan op rundveehouderijbedrijven leiden tot verhoging van de bruto opbrengsten en tot vermindering van de vertrappingsverliezen. Daardoor neemt de netto opbrengst toe. Deze kan in principe worden gebruikt voor uitbreiding van de veestapel met als gevolg een hogere melk- of vleesproductie, of voor verlaging van de kosten doordat minder krachtvoer en ruwvoer hoeft te worden aangekocht. In verband met de superheffing zal veelal de uitbreiding van de melkproductie niet tot de reële mogelijkheden behoren. (In de per 1 april 1984 ingevoerde en nadien regelmatig gewijzigde "Beschikking Superheffing" worden richtlijnen gegeven voor de bepaling van het heffingvrije quotum melk, per bedrijf met melkkoeien).

Een betere ontwatering maakt het mogelijk dat een groter deel van het jaar op het land

de mest kan worden uitgereden, voor zover dat tenminste binnen het kader van het "Besluit gebruik dierlijke meststoffen (1987)" mogelijk is. Door de betere uitrijmogelijkheden is een kleinere mestopslag nodig.

Verbetering van de ontwatering op akkerbouwbedrijven maakt het mogelijk eerder de voorjaarsbewerkingen uit te voeren, waardoor het inzaaien en poten van gewassen wordt vervroegd. Dit leidt tot hogere opbrengsten en spreiding van werkzaamheden. In het na-jaar ontstaat minder oogst risico en een betere kwaliteit van het produkt. Voorts zijn te noemen de structuurverbetering van de grond en een betere stikstofmineralisatie. Wateraanvoer heeft tot gevolg dat de opbrengsten worden verhoogd en dat de risico's ten gevolge van droogte worden verkleind.

Berekening van de interne rentevoet.

In het HELP-rapport wordt gesteld dat er voor de vergelijking van de in geld uit te drukken kosten en baten van landinrichtingsprojecten in principe drie criteria in aanmerking komen ter vervanging van het verouderde investeringseffect. In wezen zijn het rentabiliteitscriteria, die aangeven of en zo ja, in welke mate verwacht mag worden dat de investeringen en andere kosten gerechtvaardigd worden door de daarmee te verwerven baten. De drie criteria zijn de baten-kosten-verhouding (*BCR*), de netto contante waarde (*NCW*) en de interne rentevoet (*IR*).

- de baten-kostenverhouding (BCR)

$$BCR = \frac{\text{contante waarde van de baten}}{\text{investering} + \text{contante waarde lopende kosten}}$$

Het project is rendabel als $BCR > 1$.

- de netto contante waarde (NCW)

$NCW = \text{contante waarde baten} - (\text{investering} + \text{contante waarde lopende kosten})$

Het project is rendabel als $NCW > 0$.

- de interne rentevoet (IR)

$IR = \text{rentepercentage, waarvoor geldt:}$

$$\text{contante waarde baten} = \text{investering} + \text{contante waarde lopende kosten}$$

Het project is rendabel als IR hoger is dan een vast te stellen norm.

De interne rentevoet wordt beschouwd als het criterium dat het meest geschikt is voor toepassing op landinrichtingsprojecten. De *BCR* en de *IR* geven een bedrag aan baten per bedrag aan kosten. De *NCW* is een absoluut bedrag, niet gerelateerd aan enig kostenbedrag. Het is dus eigenlijk geen echt rentabiliteitscriterium. Voor alle landinrichtingsposten wordt thans de interne rentevoet berekend.

In het hierna volgende zal een toelichting worden gegeven op de methode van de berekening van de interne rentevoet.

Voor het uitvoeren van een project is geld nodig. Dat geld moet geleend worden tegen een bepaalde rente. Alleen die projecten dienen serieus in overweging te worden genomen waarbij alle te maken kosten, inclusief de rente voor het geleende geld, gedekt kunnen worden door de uit het project voortvloeiende baten: het project "moet zijn geld opbrengen". In formule:

$$B > C$$

waarin:

B = de som van alle baten

C = de som van alle kosten

Die projecten waarbij sprake is van een positief saldo, ook na betaling van de rente, zijn financieel-economisch gunstig. Naarmate er meer overblijft, zou er meer rente kunnen worden betaald. Een maat om projecten onderling te vergelijken is dan ook de hoeveelheid rente die betaald zou kunnen worden zonder verlies te lijden. De interne rentevoet is het rentepercentage waarbij het project net "quitte" speelt. In formule:

$$B = C$$

Bij de berekening van de interne rentevoet worden steeds geldbedragen uit verschillende jaren via die rentevoet omgerekend naar geldwaarden op één tijdstip (dit wordt "disconteren" genoemd). Aldus wordt de "contante waarde" berekend.

Een rekenvoorbeeld moge het begrip contante waarde verduidelijken.

De vraag is tot welke waarde een bedrag van f 100,- uitgroeit dat voor 3 jaar tegen 8% op een bank wordt gezet.

Antwoord:

Na 1 jaar groeit het bedrag met f 8,- tot f 108,-

Na 2 jaar groeit het bedrag met f 8,64 tot f 116,64

Na 3 jaar groeit het bedrag met f 9,33 tot f 125,97

In formule:

$$\text{In jaar nul: } K_0 = K_0$$

$$\text{In jaar 1: } K_1 = K_0 + rK_0 = K_0(1+r)$$

$$\text{In jaar 2: } K_2 = K_1 + rK_1 = K_1(1+r) = K_0(1+r)^2$$

$$\text{In jaar 3: } K_3 = K_0(1+r)^3$$

$$\text{In jaar } t: K_t = K_0(1+r)^t$$

waarin:

K_t = geldbedrag (kapitaal) in het jaar t

r = rentepercentage

Andersom geredeneerd blijkt dat bij een rentepercentage van 8% een bedrag van f 125,97 van over 3 jaar, nu f 100,- waard te zijn.

In formule:

$$K_0 = K_{t \rightarrow 0} = K_t(1+r)^{-t}$$

waarin:

$K_{t \rightarrow 0}$	= de contante waarde van een geldbedrag uit jaar t in het jaar nul
K_0	= geldbedrag in het jaar nul
K_t	= geldbedrag in het jaar t

Bij het vergelijken van verschillende alternatieven van een landinrichtingsplan is men geïnteresseerd in de "waarde"-verschillen en niet in "bedrag"-verschillen. Alle geldbedragen uit de diverse jaren waarin kosten worden gemaakt en baten worden verkregen, moeten worden omgezet in een geldwaarde op één tijdstip. Daarvoor wordt het tijdstip nul gekozen, zijnde het moment waarop de uitvoering van de ruilverkaveling gereed is.

De interne rentevoet wordt berekend met behulp van de volgende algemene formule:

$$\left(\frac{b_1}{1+r} + \frac{b_2}{(1+r)^2} + \dots + \frac{b_T}{(1+r)^T} \right) = \left(\frac{I_1 + CO_1}{1+r} + \dots + \frac{I_T + CO_T}{(1+r)^T} \right)$$

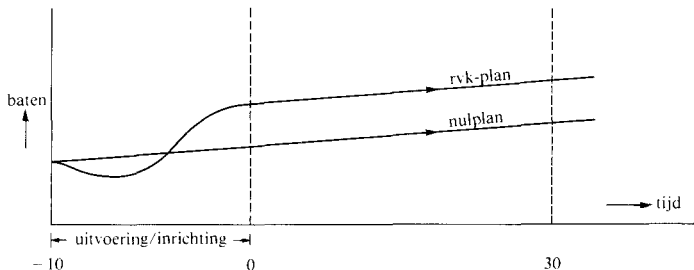
waarin:

I_t	= investering in jaar t
CO_t	= kosten van onderhoud in het jaar t
T	= levensduur van de investering of de "tijdshorizon"
b_t	= baten in het jaar t (1 tot en met n)
r	= de interne rentevoet.

In de praktijk van de HELP-berekeningen worden vereenvoudigingen gemaakt en aannamen gedaan:

- alle investeringen gedaan tijdens de uitvoeringsperiode worden verondersteld gemaakt te worden op het tijdstip nul. Dat heeft tot gevolg dat van de investeringen niet de contante waarde hoeft te worden berekend;
- de HELP-berekening wordt uitgevoerd voor een periode van 30 jaar;
- na uitvoering van de werkzaamheden vindt een lineaire toename van de baten plaats, zowel voor het nulplan (autonome ontwikkeling), als voor de landinrichtingsalternatieven. De jaarlijkse baten ten opzichte van het nulplan blijven in die periode van 30 jaar constant;
- De jaarlijkse onderhoudskosten worden verrekend met de jaarlijkse baten.

Een en ander wordt geschetst in figuur 5.5.1



Figuur 5.1.1. Verloop van de baten voor een landinrichtingsproject.

Door het maken van die aannamen kan de formule als volgt worden geschreven:

$$I = \frac{b_1}{(1+r)^1} + \frac{b_2}{(1+r)^2} + \dots + \frac{b_T}{(1+r)^T} = \sum_{t=1}^T \frac{b_t}{(1+r)^t}$$

De aannamen leiden tot een voor de berekening van de interne rentevoet van belang zijnde reeks van gelijke baten gedurende 30 jaar en een investering op een moment als kostenreeks.

We kunnen nu de totale baten en de totale kosten van het project herleiden naar het tijdstip nul.

In formule:

$$b_1 = b_2 = b_3 = b_t$$

Vervolgens worden alle baten herleid naar het tijdstip nul:

$$B = \sum b_{t \rightarrow 0}$$

$$B = b_{1 \rightarrow 0} + b_{2 \rightarrow 0} + b_{3 \rightarrow 0} + \dots + b_{t \rightarrow 0}$$

$$B = b_1 (1+r)^{-1} + b_2 (1+r)^{-2} + b_1 (1+r)^{-3} + \dots + b_t (1+r)^{-t}$$

Aangezien de baten constant zijn, geldt:

$$B = b_t \{(1+r)^{-1} + (1+r)^{-2} + (1+r)^{-3} + \dots\}$$

We herkennen in {...} de meetkundige reeks met elementen:

$$a, ap, ap^2, ap^3, \text{ enz.}$$

De som hiervan is:

$$a \frac{(1-p)^t}{1-p}$$

In ons geval is: $a = (1+r)^{-1}$ en $p = (1+r)^{-1}$

Dus geldt:

$$B = b_t (1+r)^{-1} \cdot \frac{1-(1+r)^{-t}}{1-(1+r)^{-1}}$$

$$B = b_t \frac{1+(1+r)^{-t}}{r}$$

Ter bepaling van de interne rentevoet r geldt: $B = C = I$

dus:

$$I = b_t \frac{1-(1+r)^{-t}}{r}$$

Anders geschreven:

$$\frac{I}{b_t} = \frac{1-(1+r)^{-t}}{r}$$

Voor het rechter deel van de vergelijking bestaan tabellen voor diverse waarden van r en t .

Als de investeringskosten van het project in het jaar nul (I) en de netto baten per jaar (b_t) bekend zijn, is met behulp van de tabellen of een rekenapparaat de interne rentevoet te bepalen.

Voorbeeld:

De investering bedraagt f 15.000,- per ha, de baten gedurende 30 jaar zijn f 1.000,- per ha.

$$\frac{I}{b_t} = \frac{15.000}{1.000} = 15 = \frac{1-(1+r)^{-30}}{r}$$

Uit tabel 5.1.1 blijkt:

Voor $r = 5\%$ komt uit het rechter stuk 15,3725

Voor $r = 5,5\%$ komt uit het rechter stuk 14,5337

De gevraagde rentevoet r ligt dus tussen 5 en 5,5%. Na enig rekenwerk is het antwoord 5.2165%. Het rechter stuk heeft dan de waarde 15,00024.

(N.B. bij het uitrekenen op een rekenmachine 5,5% aanslaan als 0,055).

Tabel 5.1.1. Enkele waarden van $\frac{1-(1+r)^{-t}}{r}$ voor verschillende rentepercentages bij $t = 30$ jaar.

<i>r</i> in %		<i>r</i> in %		<i>r</i> in %		<i>r</i> in %	
1	25,8077	7	12,4090	13	7,4957	19	5,2347
1,5	24,0158	7,5	11,8104	13,5	7,2415	19,5	5,1037
2	22,3965	8	11,2578	14	7,0027	20	4,9789
2,5	20,9303	8,5	10,7468	14,5	6,7778	20,5	4,8599
3	19,6004	9	10,2737	15	6,5660	21	4,7463
3,5	18,3920	9,5	9,8347	15,5	6,3661	21,5	4,6377
4	17,2920	10	9,4269	16	6,1772	22	4,5338
4,5	16,2889	10,5	9,0474	16,5	5,9900	22,5	4,4344
5	15,3725	11	8,6938	17	5,8291	23	4,3391
5,5	14,5337	11,5	8,3637	17,5	5,6690	23,5	4,2478
6	13,7648	12	8,0552	18	5,5168	24	4,1601
6,5	13,0587	12,5	7,7664	18,5	5,3722	24,5	4,0756

Wil een landinrichtingsproject voor uitvoering in aanmerking komen, dan moet het een aanvaardbare verhouding tussen effecten en kosten vertonen. Bij een uiteindelijke beoordeling van een plan wordt bekeken of uitvoering uit nationaal-economisch oogpunt verantwoord is. Daarbij worden alle relevante, al of niet in geld uitdrukbare, maatschappelijke voor- en nadelen in beschouwing genomen. Daarbij speelt de interne rentevoet een belangrijke rol.

In het Structuurschema Landinrichting wordt een rendementsnorm genoemd van minimaal 10% voor investeringen ten behoeve van de land- en tuinbouw. Bij een integrale beoordeling van een plan is een berekend rendement dat lager uitkomt dan 10% aanvaardbaar, indien de niet in geld te waarderen voordelen, zoals die ten aanzien van natuur en landschap, van zodanige aard en omvang zijn, dat deze geacht kunnen worden op te wegen tegen het verschil tussen de norm van 10% en het berekende lagere rendement. In de fase van de planvoorbereiding zal er evenwel van worden uitgegaan, dat een planvariant waarbij de effecten van, en de kosten voor de land- en tuinbouw een berekend rendement lager dan 5% opleveren, niet voor uitvoering in aanmerking komt.

In het voorjaar van 1988 is de rendementsnorm van 10% verlaagd tot 6% (persbericht nr. 68 Landbouw en Visserij, 8 april 1988). De ondergrens voor de rentabiliteit van landinrichtingsprojecten van 5% wordt gehandhaafd. Indien in landinrichtingsprojecten met een meervoudige doelstelling het deel van de investeringen dat gericht is op de land- en tuinbouw een interne rentevoet van minder dan 5% oplevert, zal dat onderdeel van het project geen doorgang vinden, tenzij deze investeringen rechtstreeks van belang zijn voor de optimalisering van niet-agrarische functies.

De verlaging van de rendementsnorm is een gevolg van het besluit van de regering in 1986 om voor overheidsinvesteringen voortaan een uniforme "risicovrije" disconteringsvoet van reëel 5% te hanteren. Vertaald naar de situatie voor investeringen ten behoeve van land- en tuinbouw bij landinrichtingsprojecten levert dit een rendementsnorm op van

6% (5% plus 1% risico-opslag). Investerings die aan deze norm voldoen, worden verantwoord geacht.

Het economisch effect van de investeringen ten behoeve van land- en tuinbouw wordt uitgedrukt in de interne rentevoet. Voor het berekenen van de interne rentevoet zijn twee gegevens nodig, namelijk het relevante investeringsbedrag en de daaruit voortvloeiende jaarlijkse baten, beide vanuit nationaal-economisch oogpunt.

Voor het bepalen van de in nationaal-economische zin landbouwkundig relevante kosten dienen enige correcties op de totale begroting te worden toegepast, zoals:

- aftrek van investeringen die niet ten behoeve van de land- en tuinbouw worden gedaan. Kosten die voor meerdere functies zijn gemaakt moeten worden verdeeld. De kosten moeten zo goed mogelijk worden toegerekend aan de veroorzakers ervan;
- aftrek van agrarisch relevante investeringen die in de autonome ontwikkeling zouden worden gedaan;
- toevoeging van de in het kader van het plan te verwachten particuliere investeringen, bijvoorbeeld kavelverbetering en boerderijverplaatsing;
- aftrek van nationaal-economisch niet-relevante investeringen, bijvoorbeeld grondtransacties en afkoop toedelingsrechten.

Over de begrenzing van de mee te nemen kosten en baten is nogal wat discussie gevoerd. Hieronder worden enkele posten genoemd waarover afspraken zijn gemaakt.

- Besloten is dat de kosten van het ambtelijk apparaat niet als kosten worden meegerekend.
- Omzetbelasting wordt wel als kostenpost meegenomen.
- Alleen de directe effecten ten gevolge van landinrichting worden meegerekend. De indirecte effecten blijven buiten beschouwing. Dat heeft tot gevolg dat bijvoorbeeld de effecten voor toeleverende en verwerkende bedrijven niet worden bepaald. Ook een gedeelte van de effecten van het relatienota-beleid in landinrichtingsgebieden blijft daardoor buiten beschouwing.
- Een probleem bij de effectbepaling vormen die investeringen, die gedaan worden om meer dan een doelstelling te realiseren, bijvoorbeeld de aanleg van wegen. Het is niet of nauwelijks mogelijk de kosten en de baten exact toe te rekenen aan een bepaalde doelstelling of functie. Als een partiële kosten-baten analyse voor bijvoorbeeld de landbouw wordt uitgevoerd moeten daarom aannamen worden gedaan. Thans is gebruikelijk alleen investeringen in wegen met overwegend agrarisch belang, voor de rendementsberekening ten behoeve van de landbouw relevant te verklaren.

Het aanbrengen van correcties in de begroting resulteert in het volgende (niet volledige) overzicht:

- *Ontsluiting*

Niet relevant zijn de kosten van kwartaire wegen, de wegen van algemeen belang, de recreatieve paden en de daarmee samenhangende voorzieningen. Nationaal-economisch zijn de kosten voor grondaankopen ten behoeve van de aanleg van landbouwwegen niet relevant.

- *Waterbeheersing*

De kosten van grondaankopen zijn nationaal-economisch niet relevant.

- *Landschapbouw*

Van de posten ten behoeve van landschappelijke voorzieningen is alleen de post erfbeplanting op te verplaatsen bedrijven relevant.

- *Verkaveling*

De afkoop van toedelingsrechten is een overdrachtsuitgave en in deze zin nationaal-economisch niet relevant.

Boerderij-opschuivingen zijn nationaal-economisch niet relevant. Bij de berekening van de relevante kosten voor boerderijbouw wordt uitgegaan van de particuliere investeringen.

Investerings in reservaatgebieden zijn niet relevant.

- *Algemene kosten*

De administratieve kosten zijn relevant volgens de verhouding totale kosten/relevante kosten van de overige begrotingsposten.

Er is een verschil tussen de toename van de arbeidsopbrengst zoals die wordt bepaald ten behoeve van de berekening van de nationaal-economische interne rentevoet en de toename van de arbeidsopbrengst voor de bedrijven zelf. Ten behoeve van de berekening voor de bedrijven dienen de volgende aftrekposten in beschouwing te worden genomen:

- ruilverkavelingsrente;
- toename waterschapslasten;
- rente en afschrijving op de door de ondernemers zelf verrichte investeringen.

Bedacht dient te worden dat de berekeningen zijn uitgevoerd voor geschematiseerde bedrijfsmodellen. De uitkomsten van de berekeningen geven een indicatie van gemiddelde situaties. De werkelijkheid zal voor de diverse individuele bedrijven zeer divers zijn.

Voorbeeldberekening van de economische effecten voor weidebedrijven

Aan de hand van een getallenvoorbeeld voor het ruilverkavelingsgebied "Sauwerd" zal globaal worden aangegeven hoe de landbouwkundige baten voor een gebied met rundveehouderijbedrijven worden berekend. De gegevens zijn ontleend aan het evaluatierapport van het ontwerp-plan (*Landinrichtingsdienst*, 1988).

Bedacht dient te worden dat de getallen uit dit voorbeeld niet mogen worden gebruikt voor andere gebieden, bedrijfstypen en bedrijfsgroottes.

De methode is uitgebreid beschreven door *Pronk* (1983).

Voor de huidige situatie, de ontwikkeling zonder ruilverkaveling en de ontwikkeling met ruilverkaveling zijn de voor de batenberekening noodzakelijke cultuurtechnische kengetallen bepaald. De gegevens van de huidige situatie zijn gebaseerd op opnames in proefcomplexen, de grondwatertrappenkaart vervaardigd door StiBoka en de sociaal-economische kengetallen verstrekt door het Landbouw-Economisch Instituut.

De kengetallen voor de ontwikkelingen zonder en met ruilverkaveling zijn ingeschat op grond van in proefcomplexen bepaalde invloeden van toedelingen en kavelinrichtingswerken.

De gemiddelde arbeidsopbrengst in het gebied in ontwikkeling zonder ruilverkaveling, is bepaald aan de hand van saldo-berekeningen van het Consulentenschap voor de Rundveehouderij en bedraagt f 2.165,- per ha.

Ten gevolge van wijziging in een aantal factoren ontstaat een verandering van de arbeidsopbrengst op melkveehouderijbedrijven. De in beschouwing te nemen factoren zijn volgens de HELP-methode onder andere:

- a. perceelsoppervlakte, perceelsvorm en begreppeling;
- b. afstand tot de percelen/veldkavels;
- c. het percentage van de totale oppervlakte dat bij de bedrijfsgebouwen ligt;
- d. aantal bedrijfskavels per bedrijf;
- e. waterhuishouding;
- f. landwinst en randverliezen;
- g. modernisering.

In evaluatierapporten van sommige gebieden zijn soms ook de volgende factoren in beschouwing genomen:

- h. onderhoud sloten, greppels, drains;
- i. mineralisatie door diepere ontwatering.

De onder a t/m f en h genoemde effecten zijn voor "Sauwerd" berekend.

Per factor wordt bepaald hoeveel de arbeidsopbrengst verandert, als in deze factor veranderingen optreden.

ad a. Perceelsgrootte etc.

Verbetering van perceelsoppervlakte, -vorm en begreppeling kan leiden tot lagere beweringskosten en landwinst. De lagere beweringskosten ontstaan door afname van de arbeidsbehoefte. Met het taaktijdenprogramma van het Instituut voor Mechanisatie Arbeid en Gebouwen (IMAG) is berekend hoeveel tijd nodig is voor de veldwerkzaamheden. Dit is afhankelijk van de perceelsgrootte en de lengte-breedteverhouding.

De arbeidsbehoefte blijkt terug te lopen van 17,2 naar 15,2 uur per ha. Het loonwerktarief is berekend op gemiddeld f 100,- per uur. De variabele kosten van de eigen werktuigen zoals brandstof, olie en dergelijke zijn berekend op f 14,50. De arbeidsuren van de ondernemer worden niet in de berekening opgenomen. De vrijkomende uren worden genoemd onder de sociale effecten. Rekening houdend met de verdeling eigen werk-loonwerk zijn de kosten per uur berekend op f 31,-. De arbeidsbesparing is $(17,2 - 15,2) \times f$ 31,- = f 62,- per ha per jaar.

ad b. Afstand tot de percelen.

Hieronder wordt verstaan de afstand tot de percelen op de veldkavel. Met het taaktijdenprogramma van het Instituut voor Mechanisatie, Arbeid en Gebouwen (IMAG) is berekend hoeveel tijd er nodig is voor de transportwerkzaamheden. De tijd blijkt af te nemen van 3,7 naar 2,8 uur per ha per jaar. Deze zijn gewaardeerd op f 38,- per uur. De arbeidsbesparing is $(3,7 - 2,8) \times f$ 38 = f 34,- per ha per jaar.

ad c. Het percentage van de totale oppervlakte dat bij de bedrijfsgebouwen ligt (60% criterium).

Als de huisbedrijfskavel minder dan 60% van de bedrijfsoppervlakte beslaat, is het niet mogelijk voor een veehouder om het vee het hele jaar door thuis te weiden. Hij moet dan gedeeltelijk op de veldkavel gaan melken of zomerstalvoeding toepassen. Als de huisbedrijfskavel meer dan 60% van de bedrijfsoppervlakte beslaat, stijgt de arbeidsopbrengst met f 350,- per ha voor de gehele bedrijfsoppervlakte.

Zonder ruilverkaveling voldoet 81% van de grond aan het 60% criterium en met ruilverkaveling 89%. De verbetering van de arbeidsopbrengst is $(89\% - 81\%) \times f$ 350,- = f 28,- per ha per jaar.

(In sommige andere ruilverkavelingsgebieden wordt behalve het 60% criterium ook het 80% criterium toegepast. Indien namelijk meer dan 80% van de grond bij huis ligt dan blijkt de arbeidsopbrengst nog eens extra toe te nemen).

ad d. Aantal bedrijfskavels per bedrijf.

Uit bedrijfsvergelijkend onderzoek is gebleken dat per bedrijfskavel extra de arbeidsopbrengst met f 25,- per ha daalt voor de gehele bedrijfsoppervlakte. Het gemiddeld aantal bedrijfskavels daalt van 2,4 naar 1,5. De verbetering van de arbeidsopbrengst is $(2,4 - 1,5) \times f$ 25,- = f 23,- per ha per jaar.

ad e. Waterhuishouding.

Met gegevens uit diverse onderzoeken van het Proefstation voor de Rundveehouderij, het Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding en de Stichting voor Bodemkartering zijn door de Werkgroep HELP-tabel tabellen ontwikkeld, die de opbrengstdepresies voor de verschillende grondwatertrappen van de onderscheiden bodemtypen weergeven (*Werkgroep HELP-tabel*, 1987).

Door middel van bedrijfsvergelijkend onderzoek is berekend, wat opbrengstvermindering ten gevolge van een minder optimale waterhuishouding betekent voor de arbeidsopbrengst van het bedrijf. Uit deze berekeningen blijkt dat voor dit gebied 1% opbrengstverbetering gewaardeerd kan worden op f 26,- per ha per jaar.

ad f. Landwinst.

Door het dempen van sloten ten behoeve van perceelsvergroting treedt landwinst op ter plaatse van de gedempte sloten. Bij het graven van nieuwe kavelsloten treedt landverlies op. De per saldo optredende landwinst is gewaardeerd op f 0,18 per m². Op de slootkanten treden verliezen op door vertrapping en door een mindere produktie van goede grassen. Deze vanaf de rand naar het midden afnemende verliezen zijn vertaald in een zone van 0,5 m per meter slootkant waar totaal verlies aan opbrengsten optreedt.

De landwinst is berekend op 45 m² per ha. De verbetering van de arbeidsopbrengst is $45 \times f$ 0,18 = f 8,- per ha per jaar.

ad g. Modernisering.

Uit onderzoek van het Landbouw-Economisch Instituut en diverse Consulentschappen voor de Rundveehouderij is gebleken dat de arbeidsopbrengst van een traditionele stal lager is dan van een ligboxenstal.

Door landinrichting wordt veelal een aantal boerderijen verplaatst. In de meeste gevallen zijn de oude stallen traditioneel ingericht en worden de verplaatste bedrijven ingericht als een moderne ligboxenstal. Soms heeft opschuiving plaats. Het resultaat is echter vrijwel altijd dat er door boerderijverplaatsing een ligboxenstal in de plaats van een traditionele stal komt. Doordat de verkaveling van de niet-verplaatste bedrijven beter wordt, ontstaan daar betere mogelijkheden om ook over te gaan tot het bouwen van een ligboxenstal. Bedrijfsverplaatsing en/of modernisering is meestal alleen mogelijk als daar een uitbreiding van het aantal koeien tegenover staat om de toename van de kosten op te vangen. In de situatie met superheffing is zonder aankoop van grond met quotum geen uitbreiding van de melkhoeveelheid mogelijk. Verplaatsers hebben mogelijkheden om een extra melkquotum te krijgen.

Voor het ruilverkavelingsgebied "Sauwerd" is aangenomen dat er ten opzichte van de autonome ontwikkeling geen extra modernisering zal optreden. De post is daarom niet in de evaluatie opgenomen.

Uit evaluatierapporten van andere gebieden blijkt dat de arbeidsopbrengst bij overgang van een traditionele stal naar een ligboxenstal door een betere bedrijfsorganisatie vanuit bedrijfseconomisch oogpunt toeneemt met een bedrag van vele honderden guldens per ha. Een berekening van het gemiddelde van 10 evaluatierapporten uit 1986 en 1987 leverde aan bedrijfseconomische baten gemiddeld f 923,- per ha op (met een spreiding van f 703,- tot f 1354,-). De betreffende gebieden zijn Driebruggen, Melderslo, Midden-Delfland, Den Ham, Mars- en Westerstroom, Wymbritseradeel, Marshoek- Hoonhorst, Oostermeer, Ruinerwold-Koekange, Eemland.

Nationaal-economisch is de toename echter geringer, omdat het extra melkquotum toegewezen aan de verplaatsers in landinrichtingsverband niet meer toegewezen kan worden aan bedrijven buiten landinrichting. Deze bedrijven hadden met dat quotum ook een extra arbeidsopbrengst kunnen realiseren. Het verschil tussen de extra arbeidsopbrengst bij aanwending van het melkquotum ten behoeve van verplaatsers in landinrichtingsverband ten opzichte van aanwending bij andere bedrijven vormt de nationaal-economische bate. Dit bedrag lag voor de bovengenoemde gebieden met een gemiddelde van f 715,- gemiddeld f 208,- lager dan vanuit bedrijfseconomisch oogpunt.

De baten voor het gehele gebied worden berekend door de baten per ha voor de verplaatste bedrijven te vermenigvuldigen met de totale oppervlakte van de verplaatste bedrijven en dat bedrag te delen door de totale oppervlakte van het landbouwgebied.

ad h. Slootonderhoud.

Het slootonderhoud is gebaseerd op de slootlengte per ha. Deze is in belangrijke mate afhankelijk van de perceelsgrootte en lengte-breedteverhouding.

Het slootonderhoud is gewaardeerd op f 100 per uur. De verbetering van de arbeidsopbrengst is $(1,1 - 1,0) \times f$ 100,- = f 10,- per ha per jaar.

5.1.9. Sociale effecten

De sociale effecten van een landinrichtingsplan worden afgemeten aan de hand van:

- a. de arbeidstijd op de landbouwbedrijven;
- b. de werkgelegenheid;
- c. de mogelijkheden tot openluchtrecreatie;
- d. de werk- en leefomstandigheden;
- e. de bereikbaarheid en verkeersveiligheid.

ad a.

De arbeidstijd op de landbouwbedrijven wordt berekend met behulp van de bedrijfsmodellen die worden gebruikt om de economische effecten te bepalen. Over het algemeen komen er uren vrij door het verbeteren van de verkaveling. Meestal zal een gedeelte van die uren worden omgezet in intensivering van het bedrijf.

ad b.

Het effect van het landinrichtingsplan op de werkgelegenheid heeft betrekking op:

- de directe werkgelegenheid ten gevolge van de uitvoering van de werken. Het uitvoeren van het project geeft gedurende een aantal jaren werk aan aannemers en dergelijke;
- de werkgelegenheid in de landbouw in het gebied.

Naast bedrijven die de uitvoering van het landinrichtingsplan aangrijpen om hun bedrijf voort te zetten, zijn er bedrijven die juist in verband met het plan besluiten om hun bedrijf te beëindigen. Bij een afname van de oppervlakte cultuurgrond door het plan is een verlies aan werkgelegenheid in de landbouw te verwachten;

- de werkgelegenheid voor loonwerkers en los personeel in de landbouw.

Vrijkomende arbeid op de landbouwbedrijven blijkt in de praktijk voor een deel te worden gebruikt om het werk van loonwerkers en los personeel terug te dringen. Dat leidt tot verlies van arbeidsplaatsen bij de loonbedrijven en voor het los personeel;

- de werkgelegenheid in andere sectoren.

Landinrichting kan effecten hebben op de werkgelegenheid in toeleverende en verwerkende bedrijven, alsmede in verzorgende bedrijven en beroepen. Deze indirecte effecten worden meestal buiten beschouwing gelaten.

ad c.

De effecten die landinrichting op de mogelijkheden tot openluchtrecreatie heeft, zijn dikwijls niet of nauwelijks te kwantificeren. In veel gevallen zullen de aangebrachte voorzieningen leiden tot verbetering van de kwaliteit van recreatieve voorzieningen. Soms wordt ook de opvangcapaciteit vergroot.

Voor de evaluatie van de openluchtrecreatie onderscheidt de HELP-methode twee benaderingen, namelijk één voor kleine, op de lokale bevolking gerichte voorzieningen zoals die in de meeste landinrichtingsprojecten voorkomen en één voor meer omvangrijke voorzieningen, die vooral gericht zijn op nieuw aan te trekken recreanten uit bevolkingscentra buiten het project zelf gelegen (Lammers, 1985).

Voor de kleine voorzieningen worden ter ondersteuning van de beleidsbeslissing twee criteria gehanteerd:

- de capaciteit van de zonder landinrichting reeds aanwezige voorzieningen in het licht van de behoefte aan recreatie;
- de kosten per bezoek.

Voor de categorie omvangrijke projecten is er een evaluatiemethode die in grote lijnen is gebaseerd op *Van Alderwegen* (1982). Voor de toepassing van de methode moet eerst de capaciteit van de recreatieve voorzieningen en mogelijkheden worden bepaald, evenals de omvang van het te verwachten bezoek en de kosten van de voorzieningen in totaal en per recreatieplaats. (Zie ook hoofdstuk IV. 2).

De volgende drie criteria worden gehanteerd:

- de verhouding tussen het totale aantal bezoekers en de totale capaciteit van de recreatiemogelijkheden in het gebied na uitvoering van het project en bij de autonome ontwikkeling;
- de kosten van de recreatieve voorzieningen per extra bezoeker in het gebied als gevolg van de uitvoering van het project;
- de kosten per bezoeker gerekend over het totaal aantal bezoekers.

In 1984 is de "Werkgroep Evaluatie Openluchtrecreatie" opgericht ter nadere uitwerking van de evaluatiemethode. In 1985 verscheen het rapport van die werkgroep (*Lammers*, 1985). Daarin worden naar aanleiding van een studie voor een proefgebied in het Reconstruciegebied Midden-Delfland aanbevelingen gedaan om bij de evaluatie kwaliteitsaspecten en procesplanning te betrekken.

ad d.

Het verbeteren van de werk- en leefomstandigheden is te beschouwen als een doelstelling van hogere orde dan de hiervoor genoemde effecten. Verbetering van de arbeidsomstandigheden kan leiden tot lichter, schoner, gemakkelijker en veiliger werken voor de betrokken agrariërs. Hierbij kan worden gedacht aan mogelijkheden tot mechanisatie van de bedrijfsvoering en modernisering van de bedrijfsgebouwen.

De bouw van nieuwe bedrijven en de toename van de arbeidsopbrengst en verkorting van de arbeidsduur biedt de mogelijkheid tot verbetering van de woon- en leefomstandigheden. Dat kan leiden tot verandering in de sociale contacten en dergelijke.

Tot dusver is er geen methode beschikbaar om dit soort effecten op eenvoudige wijze te beschrijven.

ad e.

Verbetering van de bereikbaarheid van woningen, bedrijfsgebouwen en kavels en verbetering van de verkeersveiligheid is te realiseren door het verbeteren van het wegennet. Zoals in de paragraaf over de economische effecten reeds is gesteld, wordt er door de Werkgroep Evaluatie Wegenplannen gewerkt aan een uitwerking van de wegenevaluatie zoals die in de HELP-methode wordt voorgesteld. Daarin wordt een aantal effecten in kwalitatieve zin weergegeven:

- de verkeersveiligheid kan worden bevorderd door onder andere het aanleggen van fietspaden en het wijzigen of opheffen van gevaarlijke kruisingen;
- de verbetering van de wegkwaliteit heeft een positieve invloed op het rijcomfort.

5.1.10. Effecten op de natuur

Doel van de bepaling van de effecten op de natuur is het zo goed mogelijk duidelijk maken welke consequenties de autonome ontwikkeling respectievelijk de plannen kunnen hebben voor het natuurlijk milieu, opdat het "natuurbelang" een evenwichtige plaats kan innemen bij meningsvorming en besluitvorming omtrent de meest wenselijke ontwikkeling voor een bepaald landinrichtingsgebied.

De bepaling van de effecten op natuur en landschap is nog in ontwikkeling. Voor een uitvoerige beschrijving van de huidige stand van zaken zij verwezen naar *Van de Laar* (1983). Dit rapport is op enkele inleidende alinea's na weergegeven in "De HELP-methode voor de evaluatie van Landinrichtingsprojecten" (*Landinrichtingsdienst*, 1984 en 1985). Deze methode is al duidelijk verder ontwikkeld dan de in het "HELP-rapport 1978" aangegeven methode.

Het "HELP-rapport 1978" kende 2 ingangen, namelijk:

- vervangbaarheid;
- diversiteit en zeldzaamheid.

Deze ingangen zijn verlaten. Thans staat in beginsel centraal de doelstelling "het handhaven van een zo gedifferentieerd mogelijk natuurlijk milieu". De nadruk wordt nu meer gelegd op de integrale benadering van de effecten op de natuur.

Bij de te verwachten ontwikkelingen voor de vegetatie wordt veelal een indeling gemaakt in graslandpercelen, akkerbouwpercelen, perceelssloten, kavelsloten en hoofdwaterlopen, grotere waterpartijen, wegbermen, dijken en taluds, bosjes, erfbeplantingen en andere landschapselementen.

Bij de te verwachten ontwikkelingen voor de fauna komen in evaluatierapporten dikwijls aan de orde weidevogels, trekvogels, amfibieën, vissen, macrofauna en overige fauna.

Vooralsnog blijkt het in de praktijk slechts in beperkte mate mogelijk de effecten in kwantitatieve zin weer te geven. Voor weidevogels is op grond van de huidige kennis een globale kwantitatieve benadering te geven. Voor de meeste andere effecten wordt een kwalitatieve benadering toegepast.

In de natuur hangt alles met alles samen. Het aantal aspecten van een ecosysteem is zeer groot. Een ecosysteem heeft het karakter van een stelsel van kringlopen. Veel relaties zijn nog niet bekend. Door het ingewikkeld stelsel van relaties, zal de invloed van een ingreep in een ecosysteem door een landinrichtingsmaatregel dan ook nooit beperkt blijven tot een effect op een onderdeel daarvan, bijvoorbeeld een plante- of diersoort.

Om de uiterst complexe werkelijkheid hanteerbaar te maken worden ten behoeve van de evaluatie vereenvoudigingen aangebracht:

- het gebied wordt opgedeeld in landschapsecologische deelgebieden;

- deze deelgebieden worden opgesplitst in kleinere eenheden, de ecotopen.
Voorts wordt uit het grote aantal mogelijke effecten bij de evaluatie een keuze gemaakt.
Er worden enkele representatief geachte effecten beschreven.

De bepaling van de effecten gebeurt in 2 fasen:

- eerst worden de veranderingen in het milieu ten gevolge van de ingreep bepaald;
- daarna worden de gevolgen van de verandering in het milieu op de soorten of levensgemeenschappen bepaald. De beschrijvingen kunnen zowel kwantitatief als kwalitatief zijn.

Na het bepalen van de effecten wordt er een oordeel aan gehecht.

De beoordeling van de effecten is eigenlijk strijdig met het algemene uitgangspunt van de HELP-methode dat effecten alleen in hun eigen eenheden mogen worden aangegeven en dat de verdere beoordeling en afweging een taak voor het beleid is. Gezien echter het grote aantal effecten op deelaspecten die niet gemakkelijk op één noemer zijn te brengen, is het moeilijk voor het beleid om de gevolgen zonder enige voorbereiding te beoordelen. Voorts is er deskundigheid vereist om te kunnen beoordelen hoe belangrijk een deelaspect is voor het totale effect op de doelstellingen die met betrekking tot de natuur zijn geformuleerd. Het wordt daarom nodig geacht om bij de evaluatie een interpretatie van de uitkomsten te geven en het gewicht van de verschillende deeleffecten voor het effect op de natuur als geheel aan te geven. De afweging van het (totale) effect op de natuur van een planalternatief tegen andere effecten wordt aan het beleid overgelaten.

5.1.11. Effecten op het landschap

Bij de evaluatie van de effecten op het landschap wordt gebruik gemaakt van de methode die is beschreven door de inspectie Landschapsbouw van het Staatsbosbeheer (*Staatsbosbeheer*, 1983).

Het begrip landschap wordt breed opgevat en omvat eigenlijk de gehele fysische en psychische leefwereld van de mens. In de HELP-methode (*Landinrichtingsdienst*, 1983 en 1984) wordt landschap gedefinieerd als het waarneembare deel van de aarde dat wordt bepaald door de onderlinge samenhang en beïnvloeding van de factoren bodem, reliëf, water, klimaat, flora, fauna en de mens.

Als voorwaarde voor een kwalitatief hoogwaardig landschap wordt beschouwd de afstemming van de landschappelijke verschijningsvorm op een breed scala van functies. Functies worden daarbij opgevat in de betekenis van menselijke behoeften en waarden. Ten behoeve van de HELP-evaluatie wordt het begrip landschap nader geconcretiseerd.

Bij evaluatie van de effecten van landinrichting op het landschap kan de betekenis van het landschap vanuit verschillende invalshoeken worden beschouwd:

- a. de visueel-ruimtelijke aspecten: identiteit, herkenbaarheid, hoe ziet het eruit, welke indruk maakt het;
- b. historisch-geografische of cultuurhistorische aspecten: samenhang met ontstaanswijze en geschiedenis;

- c. landschapsecologische aspecten: samenhang tussen planten, dieren en mensen in hun milieu;
- d. functionele aspecten.

Uitgaande van de in het Advies Landschapsbouw geformuleerde doelstellingen wordt bekeken wat de effecten zijn.

ad a en b.

Van de visueel-ruimtelijke en de historisch-geografische aspecten wordt eerst vastgesteld welke zichtbare elementen in welke mate de er aan toegekende waarde bepalen. Vervolgens wordt nagegaan in hoeverre deze elementen door de planalternatieven en de autonome ontwikkeling in gunstige of ongunstige zin worden beïnvloed.

ad c.

De landschapsecologische aspecten worden geëvalueerd voor zover ze niet bij de natuurevaluatie zijn behandeld. Bij het bepalen van de landschapsecologische aspecten probeert men vast te stellen in hoeverre de gewenste aansluiting van de landschapsecologische structuur bij het landschappelijke basispatroon en de wensen met betrekking tot het grondgebruik worden gerealiseerd.

ad d.

Onder de functionele aspecten vallen bijvoorbeeld de economische, sociale en natuureffecten. Hiervoor worden afzonderlijke evaluaties opgesteld. Deze aspecten worden daarom bij dit onderdeel buiten beschouwing gelaten.

In de praktijk wordt bij de landschapsevaluatie het accent om praktische redenen dikwijls sterk op het visueel-ruimtelijke aspect gelegd. Dit visueel-ruimtelijke aspect wordt getoetst op een drietal deelaspecten, te weten ontstaan, beleving en gebruik. Andere in rapporten voorkomende criteria zijn herkenbaarheid, functionaliteit, continuïteit en landschapsecologische kwaliteit.

Net als bij de effectbeschrijving voor de natuur geeft men aan de verschillende effecten voor het landschap een waardering. Ook geeft men voor het landschap als totaal een oordeel over de verschillende alternatieven ten opzichte van de autonome ontwikkeling. Tot slot kunnen er als resultaat van de toetsing voor de volgende fase in de planvorming aanbevelingen worden geformuleerd.

5.1.12. Literatuur

Alderwegen, H.A. van, 1982

Planning van openluchtrecreatievoorzieningen bij voorbereiding van landinrichtingsprojecten. Rp. 4. Instit. voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Wageningen.

Boer, I de, 1982

Handleiding voor het computerprogramma LEOGRAS. Landinrichtingsdienst, Utrecht.

Bosma, 1986

Kosten en effecten van Landinrichtingsprojecten in Nederland. Dissertatie, Wageningen.

- Centrale Cultuurtechnische Commissie, 1958
Meerjarenplan voor ruilverkavelingen en andere cultuurtechnische werken in Nederland.
- Centrale Cultuurtechnische Commissie, 1982
Het advies inzake de evaluatie van landinrichtingsprojecten.
- Instituut voor Mechanisatie, Arbeid en Gebouwen (IMAG), 1976.
Taaktijden voor veldwerk. Instituut voor Mechanisatie, Arbeid en Gebouwen (IMAG), Wageningen.
- Kramer, Q.J.M., 1985
Landinrichtingswet. Nederlandse Staatswetten. Editie Schuurmans & Jordens 101. Tjeenk Willink, Zwolle.
- Laar, J. van de, 1983
De natuurevaluatie in het kader van HELP. Meded. 149. Landinrichtingsdienst, Utrecht.
- Lammers, G.W., 1985
Evaluatie openlucht recreatie in landinrichtingsprojecten, de ontwikkeling van een evaluatiemethode in het kader van de HELP. Directie Openlucht recreatie Ministerie van Landbouw en Visserij, 's Gravenhage.
- Landinrichtingsdienst, 1983
De HELP-methode voor de evaluatie van landinrichtingsprojecten, deel 1: Beschrijving en verantwoording. Staatsuitgeverij, 's Gravenhage.
- Landinrichtingsdienst, 1984
De HELP-methode voor de evaluatie van landinrichtingsprojecten, deel 2: Toelichting en uitwerking. Staatsuitgeverij, 's Gravenhage.
- Landinrichtingsdienst, 1988
Ruilverkaveling Sauwerd. Evaluatie van het ontwerp-plan. Landinrichtingsdienst, Utrecht.
- Landinrichtingsdienst, diverse jaren
Diverse evaluatie rapporten van diverse ruilverkavelingsgebieden. Landinrichtingsdienst, Utrecht.
- Ministerie van Landbouw en Visserij, Ministerie van Volkshuisvesting en Ruimtelijke Ordening, 1985
Structuurschema Landinrichting, Staatsuitgeverij, 's Gravenhage.
- Ministerie van Landbouw en Visserij, 1987
Besluit gebruik dierlijke meststoffen.
- Noort, P.C. van den, 1985
Het economisch nut van ruilverkavelingen. Cultuurtechn. Tijdschr. 24(5):p.257-263.
- Pronk, G.M., 1983
Methode voor berekening van baten van landinrichting voor weidebedrijven. Meded. 144. Landinrichtingsdienst, Utrecht.
- Reinds, G.H. en J.W. Righolt, 1977
Agrarische evaluatie van de landinrichting met het rekenprogramma AGREVAL. Cultuurtechn. Tijdschr. 17 (2):p.94-101. Ook Verspr. Overdr. 204. Instit. voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Wageningen.
- Sparenburg, G.A., 1985
Landinrichting: agrarische evaluatie met het systeem AGREVAL. Onderdeel van de dictaten-reeks behorende het onderwijs element Landinrichting en Informatie-systemen. Vakgroep Cultuurtechniek, Landbouwhogeschool Wageningen.
- Staatsbosbeheer, 1983
Handleiding voor de evaluatie van het landschap in landinrichtingsplannen. Nota inspectie landschapbouw Staatsbosbeheer, Utrecht.
- Tanis, T., 1984
Methode voor berekening van baten van landinrichting voor akkerbouwbedrijven. Meded. 150. Landinrichtingsdienst, Utrecht.
- Vink, L.W., 1980
Methode ter bepaling van de invloed van landinrichting op het bedrijfsresultaat van het intensieve groentetelbedrijf in de vollegrond. Nota 1209. Instit. voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Wageningen.

- Werkgroep Evaluatie Ruilverkavelingen, 1976
Technische en sociale evaluatie van een aantal ruilverkavelingen. Cultuurtechnische Vereniging, Utrecht.
- Werkgroep Evaluatie Wegenplannen, 1986
Handleiding Toepassing Methode Wegenevaluatie (concept, nog niet gepubliceerd).
- Werkgroep Herziening Evaluatie Landinrichtingsplannen (HELP), 1978.
Methode voor de evaluatie van landinrichtingsplannen (het "HELP-rapport"). Landinrichtingsdienst, Utrecht.
- Werkgroep HELP-tabel, 1987
De invloed van de waterhuishouding op de landbouwkundige productie. Meded. 176. Landinrichtingsdienst, Utrecht.
- Werkgroep Toepassing en Uitwerking Methodiek Meerjarenplan (TUMM), 1962
Rapport van de werkgroep "Toepassing en Uitwerking Methodiek Meerjarenplan", Cultuurtechnische Dienst, Utrecht.
- Werkgroep Water, Bodem en Lucht, 1983
Voorspelling van de effecten van landinrichting op water, bodem en lucht. Eindrapport Fase 1. Landinrichtingsdienst, Utrecht.
- Werkgroep Water, Bodem en Lucht, 1987
Voorspelling van de veranderingen in de gesteldheid van water, bodem en lucht als gevolg van landinrichting. Meded. 167. Landinrichtingsdienst, Utrecht.
- Wiegel, D.D., en I. de Boer, 1982
Handleiding voor het Instituut voor Mechanisatie, Arbeid en Gebouwen (IMAG)/LD taaktijdenprogramma. Landinrichtingsdienst, Utrecht.
- Wiegel, D.D., 1983
Handleiding en documentatie voor het computerprogramma LEOAKKER. Landinrichtingsdienst, Utrecht.
- Wiegel, D.D., 1984
Batenberekening van landinrichting voor vollegronds-groenteteeltbedrijven. Cultuurtechn. Tijdschr. 24(2):p.107-113.

5.2. Evaluatie van landinrichtingsplannen volgens de methode AGREVAL

5.2.1. Doel en aard van het programma AGREVAL

In het kader van de ontwikkeling van de HELP-procedure zijn sinds omstreeks 1975 twee systemen ontwikkeld om de invloed van de verkaveling op de bedrijfsvoering en de bedrijfsuitkomsten te bepalen. Door de Landinrichtingsdienst werd een aantal computerprogramma's ontwikkeld voor de rundveehouderij, de akkerbouw en de tuinbouw. Parallel aan de ontwikkeling bij de Landinrichtingsdienst kwam op het Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding het programma AGREVAL tot stand, toepasbaar voor de rundveehouderij en de akkerbouw.

De Centrale Cultuurtechnische Commissie heeft besloten ten behoeve van de uniformering van de evaluatie van landinrichtingsplannen de programma's van de Landinrichtingsdienst toe te passen. Sindsdien wordt het programma AGREVAL alleen gebruikt voor bijzondere studies en voor onderwijsdoeleinden. Het programma is ontwikkeld en be-

schreven door *Reinds en Righolt* (1977). Ten behoeve van het onderwijs aan de Landbouw-universiteit is het uitgebreid beschreven door *Sparenburg* (1985).

Het programma is speciaal geschikt voor studies waarbij dieper wordt ingegaan op bepaalde aspecten van inrichtingsvarianten bij landinrichting, zoals het effect van het handhaven van begroeiingselementen of cultuurhistorisch interessante kenmerken in het landschap.

AGREVAL is onder andere toegepast in de projectstudie Midden-Brabant. Dit was een multidisciplinair onderzoek om een methode te ontwikkelen voor het opstellen en evalueren van een reeks alternatieven voor de inrichting van een gebied met meervoudig grondgebruik. Daarbij werden de geschiktheid voor landbouw en de landbouwkundige evaluatie met het programma doorerekend.

Het programma kan zowel worden toegepast voor een individueel bedrijf als voor een groep bedrijven. In dat laatste geval dient de groep bedrijven voldoende homogeen te zijn, zodat voor de als input in te voeren landinrichtingskenmerken gemiddelde waarden kunnen worden gehanteerd. De output bestaat dan uiteraard ook uit gemiddelde waarden.

Het programma is zodanig opgezet dat met betrekkelijk weinig rekenwerk de kwaliteit van de verkaveling zonder en met ingrepen in de inrichtingssituatie kan worden bepaald in de vorm van te behalen bedrijfsresultaten. Wel vraagt een volledig benutten van de mogelijkheden van het programma relatief veel invoergegevens. Wil men meer globale resultaten, dan zijn minder invoergegevens nodig. Het hangt van de situatie af hoever vereenvoudiging verantwoord is. Als voorbeeld het volgende.

Het programma onderscheidt vier soorten perceelsgrenzen, elk met zijn specifieke invloed op arbeidsbehoefte en produktie. Het zijn:

- gewasgrens of raster, zonder sloot of houtgewas;
- sloot, eventueel met raster, maar zonder houtgewas;
- houtgewas met sloot tussen perceel en houtgewas;
- houtgewas zonder sloot tussen perceel en houtgewas, (eventueel een sloot achter het houtgewas).

Dit maakt het programma geschikt voor toepassing in gebieden waar het handhaven van landschappelijk waarden moet worden afgewogen tegen de bedrijfseconomische consequenties hiervan. Het is mogelijk van deze detaillering geen gebruik te maken door zich te beperken tot bijvoorbeeld één soort perceelsgrens. Dit zal dan leiden tot een minder nauwkeurige benadering van het effect van een ingreep.

Het programma kan worden gekoppeld aan andere programma's. Zo levert de Cultuurtechnische Inventarisatie (CI) in principe de benodigde basisgegevens voor de evaluatie. Met behulp van toedelingsprogramma's en gebruik van een grafisch beeldscherm kunnen nieuwe verkavelingen worden ontworpen.

Het programma kent een aantal varianten. In de eerste plaats wordt onderscheid gemaakt tussen akkerbouw en melkveehouderij.

Binnen de de variant akkerbouw kan worden gekozen voor het standaardprogramma en voor een aangepast programma. In het standaardprogramma wordt volstaan met een beperkte input. In een dergelijk geval wordt bij de berekening van de bedrijfsresultaten uit-

gegaan van een gestandaardiseerd bouwplan en produktieniveau. In het aangepaste programma kunnen zelf gekozen waarden worden ingevoerd.

Voor melkveehouderijbedrijven zijn vier programmavarianten beschikbaar. Deze varianten onderscheiden zich door verschillende veronderstellingen ten aanzien van de melkveebezetting en het al dan niet kiezen voor het 's nachts opstallen van het melkvee. Binnen de varianten voor het melkveebedrijf kan eveneens worden gekozen uit het standaardprogramma en een aangepast programma. Het standaardprogramma met een beperkte invoer gaat uit van een bedrijf met 100 % grasland en een gestandaardiseerd bedrijfsplan ten aanzien van grasproductie, graslandgebruik etc. In het aangepaste programma kan op een deel van de cultuurgrond snijmaïs worden verbouwd.

5.2.3. De benodigde invoergegevens

Het programma kent twee soorten invoergegevens.

In de eerste plaats zijn er gegevens die altijd moeten worden ingevoerd. Deze gegevens betreffen grondsoort, ontwateringstoestand, bedrijfstype en verkavelingskenmerken.

In de tweede plaats zijn er gegevens waarvoor een standaardwaarde in het programma aanwezig is, maar waarvoor de gebruiker eventueel een aan het gebied aangepaste waarde kan invoeren. Voorbeelden daarvan zijn grasproductie en arbeidskosten per uur.

Het mechanisatieniveau neemt een tussenpositie in. Men kan kiezen uit drie niveau's per bedrijfstype, maar de gebruiker kan de keuze ook door het programma laten berekenen. In dat geval wordt berekend welk van de drie onderscheiden mechanisatieniveau's het hoogste netto-overschot oplevert.

Er kunnen drie grondsoorten worden onderscheiden: klei, zand en veen.

Bij de ontwateringssituatie kan worden ingevuld: goed of slecht.

Grondsoort en ontwateringstoestand zijn bepalend voor de transporttijd op onverharde wegen en over land en voor de arbeidsbehoefte bij de voederwinning.

Ook worden de standaardwaarde van het bemestingsniveau en de produktie van het grasland er door bepaald.

Bij de melkveehouderij kunnen vier situaties worden onderscheiden, namelijk dag en nacht weiden of alleen overdag en met of zonder bovengrens aan de omvang van de veestapel.

Op en deel van de cultuurgrond kan snijmaïs worden geteeld.

De verkavelingsgegevens die moeten worden ingevoerd zijn:

- de totale oppervlakte van het bedrijf;
- de niet beteelde oppervlakte, zoals erf, tuin en bedrijfswegen;
- de lengte perceelsgrens, ingedeeld in vier typen;
- de lengte aan greppelkanten binnen de percelen;
- de som van de perceelsbreedten;
- het aantal perceelshoeken;
- het aantal percelen;

- het aantal bedrijfskavels;
- de gemiddelde afstand tussen de cultuurgrond en de bedrijfsgebouwen
 - . via de verharde weg voor alle cultuurgrond;
 - . via onverharde wegen en over land voor alle cultuurgrond;
 - . via verharde wegen en over land voor deze grond;
- de oppervlakte van de huisbedrijfskavel als percentage van de oppervlakte cultuurgrond.

In de categorie standaardwaarden die door de gebruiker eventueel kunnen worden aangepast, zijn twee hoofdgroepen te onderscheiden.

De eerste groep heeft betrekking op omvang en betekenis van de verschillende verkavelingselementen, zoals breedte, onderhoudsbehoefte en effect op de opbrengst van de verschillende typen perceelsranden.

Via de tweede groep is aanpassing van bouwplan, produktiekosten en gewasopbrengsten voor akkerbouwbedrijven en van grasproduktie, percentage snijmaïs, eigen ruwvoerproduktie, opbrengst en aantal stuks jongvee per melkkoef voor melkveebedrijven mogelijk. Daarnaast kunnen nog enkele algemene kostenposten zoals arbeidskosten per uur en de beschikbare eigen arbeid op het bedrijf worden ingevoerd.

5.2.4. De uitvoergegevens

De gebruiker kan kiezen uit drie verschillende vormen van uitvoer, namelijk een normale, een compacte en een uitgebreide output.

In de normale output worden de resultaten per bedrijf weergegeven. Daarbij worden naast de bedrijfsresultaten zoals machinekosten, arbeidsbehoefte, arbeidsopbrengst en nettooverschot ook de verkavelingsgegevens van het bedrijf vermeld. In de compacte output worden de resultaten in tabelvorm in één regel per bedrijf weergegeven. Bij de uitgebreide output wordt het groepsgemiddelde van een aantal bedrijven weergegeven.

5.2.3. Literatuur

Reinds, G.H. en J.W. Righolt. 1977.

Agrarische evaluatie van de landinrichting met het rekenprogramma AGREVAL. Cultuurtechn. Tijdschr. 17(2):p. 94-101. Ook Verspr. Overdr. 204. Instit. Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Wageningen.

Sparenburg, G.A. 1985

Landinrichting: agrarische evaluatie met het systeem AGREVAL. Onderdeel van de dictaten-reeks behorende het onderwijsselement Landinrichting en Informatie-systemen. Vakgroep Cultuurtechniek, Landbouwhogeschool Wageningen.

Deel V

ONTWERP EN UITVOERING

Blz.

1.	Waterbouw	761
2.	Wegen en verkeer	893
3.	Bestekken, begrotingen en produktienormen grondwerk	1034

1. Waterbouw

1.1. Ontwerpen van waterbeheersingsplannen

1.1.1. Algemene begrippen

Voor de algemene begrippen wordt verwezen naar de "Verklarende hydrologische woordenlijst"; *Commissie voor Hydrologisch Onderzoek TNO* (1986)". Een aantal begrippen hieruit en enkele aanvullingen staan hieronder vermeld.

Nr.	Term	Omschrijving	Gangbare eenheid	Dimensie	Symbool
1	afvoer	Debiet (10) uit een gebied.	$m^3 \cdot s^{-1}$	$L^3 T^{-1}$	Q
2	afvoercoëfficiënt	Coëfficiënt die bij de berekening van de afvoer over en door kunstwerken, de gevolgen van onvolkomenheden in de schematisatie van de waterbeweging compenseert.	-	-	-
3	afvoeroverschrijdingsfrequentie (afvoerfrequentie)	Het aantal keren dat een bepaalde afvoer (1) in een zekere periode wordt bereikt of overschreden.	-	-	-
4	afvoerintensiteit (specifieke afvoer)	Afvoer per oppervlakte-eenheid van het beschouwde gebied (met een gekozen overschrijdingsfrequentie) welke wordt gebruikt voor het ontwerp van waterlopen en bijbehorende kunstwerken.	$l \cdot s^{-1} \cdot ha^{-1}$	$L T^{-1}$	q
5	afvoernorm	De maatgevend gestelde afvoerintensiteit (4) voor het ontwerpen van een waterbeheersingsplan.	$l \cdot s^{-1} \cdot ha^{-1}$	$L T^{-1}$	-
6	afwatering	De afvoer van water via een stelsel van open waterlopen (48) naar een lozingspunt van het afwateringsgebied.	-	-	-
7	berging	Het volume water dat aanwezig is binnen een bepaald gebied.	m^3	L^3	V
8	bergingscapaciteit	Het volume water dat geborgen kan worden tussen het streefpeil en het aanvaardbaar hoogste peil.	m^3	L^3	V

Nr.	Term	Omschrijving	Gangbare eenheid	Dimensie	Symbool
9	boezem	Het stelsel van gemeen liggende, met elkaar in open verbinding staande waterlopen (48) en meren waarop het water van lager gelegen polders wordt uitgeslagen en dienend voor eventueel tijdelijke berging en lozing op het buitenwater.	-	-	-
10	debiet	Het vloeistofvolume dat per tijdseenheid door een doorsnede stroomt.	$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ($\text{l} \cdot \text{s}^{-1}$)	$\text{L}^3 \text{T}^{-1}$	Q
11	drooglegging	Het hoogteverschil tussen de waterspiegel in een waterloop (48) en het grondoppervlak (zie figuur).	m	L	-

12	droogmakerij	Een polder (28) die is ontstaan nadat (een deel) van een meer, zeearm of ondiep deel van de zee is drooggelegd.	-	-	-
13	eenparige stroming	Stroming in een open waterloop met constante dwarsdoorsnede waarbij de waterdiepte gelijk is in alle dwarsdoorsneden ($\partial h / \partial s = 0$).	-	-	-
14	evenwichtsdiepte	Waterdiepte bij eenparige stroming (13) groter of kleiner dan de grensdiepte (15).	cm	L	y_n
15	grensdiepte	Waterdiepte waarbij de stroming kritisch is; dus $Fr = 1$ (zie 18).	cm	L	y_c
16	hydraulische diepte	De verhouding tussen natte oppervlakte en de breedte van de waterloop op de waterspiegel. $D = A/B$ (zie figuur).	m	L	D

17	hydraulische straal	De verhouding tussen natte oppervlakte en natte omtrek van een waterloop. $R = A/P$ (zie figuur).	m	L	R
----	---------------------	---	---	---	-----

Nr.	Term	Omschrijving	Gangbare eenheid	Dimensie	Symbool
18	kritische stroming (zie ook 31 en 35)	Stromingstoestand waarbij de watersnelheid gelijk is aan de voortplantingssnelheid van lange golven. Toelichting: deze stromingstoestand, die op zichzelf instabiel is, vormt de overgang tussen stromend en schietend water (m.a.w. $Fr = 1$); de gegeven afvoer vindt dan bij minimale energiehogte plaats.	-	-	-
19	kwel	a. In het algemeen: het uit treden van grondwater. b. In het bijzonder: het uit treden van water onder invloed van grotere stijghoogten buiten het beschouwde gebied; het uit treden van water dat binnen het gebied aan het oppervlak is toegevoerd, valt dus buiten deze term. Het uit treden kan onder meer geschieden direct aan het grondoppervlak, in sloten, drains of via capillaire opstijging.	- -	- -	- -
20	kwelintensiteit	Het volume van het water dat door kwel (19b) de grond uit treedt, per eenheid van tijd en per eenheid van horizontaal oppervlak van het beschouwde gebied	$m \cdot d^{-1}$	$L T^{-1}$	U_k
21	lozing	Kunstmatige of natuurlijke afvoer (I) van overtollig water.	-	-	-
22	maatgevende afvoer	De afvoer die bepalend is gesteld voor het ontwerp van een waterbeheersingsplan of een deel ervan.	$m^3 \cdot s^{-1}$	$L^3 T^{-1}$	
23	negatieve stuwkromme (afzuigkromme; cultuurtechnische term: valkromme)	De waterspiegel in een waterloop (48) waar de waterdiepte kleiner is dan de evenwichtsdiepte (14) als gevolg van een benedenstroomse verkleining van de evenwichtsdiepte.	-	-	-
24	niet-eenparige stroming	Stroming in een open waterloop (48) waarbij tenminste één van de hydraulische grootheden (waterdiepte, stroomsnelheid, dwarsdoorsnede) verandert in de lengterichting ($\partial h / \partial s \neq 0$).	-	-	-
25	niet-stationaire stroming (niet-permanente stroming)	De stroming waarbij de plaatselijke snelheid verandert in de tijd ($\partial v / \partial t \neq 0$).	-	-	-

Nr.	Term	Omschrijving	Gangbare eenheid	Dimensie	Symbool
26	ontwatering	De afvoer van water uit percelen over en door de grond en eventueel door drainbuizen en greppels naar een stelsel van grotere waterlopen (48).	-	-	-
27	ontwateringsdiepte	De afstand tussen het grondoppervlak en de hoogste grondwaterstand tussen de ontwateringsmiddelen (zie figuur bij term drooglegging).	cm	L	-
28	polder	Een gebied dat door een waterkering beschermd is tegen water van buiten en waarbinnen de waterstand beheerst kan worden.	-	-	-
29	polderpeil	a. Het peil in de waterlopen van een polder dat d.m.v. inlaten en afvoeren wordt beheerst. b. Het reglementair vastgestelde waterpeil in een polder dat door de beherende instantie wordt nagestreefd.	cm	L	P.P.
30	regenduurlijn	Grafische weergave van de specifieke neerslag die valt in een periode van een bepaalde duur en die met een bepaalde frequentie wordt overschreden. De regenduurlijn is afhankelijk van de gekozen overschrijdingsfrequentie.	-	-	-
31	schietend water (zie ook 18 en 35)	Stromingstoestand waarbij de watersnelheid groter is dan de voortplantingssnelheid van lange golven; hierdoor kunnen storingen zich niet in bovenstroomse richting voortplanten. Toelichting: hierbij geldt $Fr > 1$.	-	-	-
32	specifieke afvoer	Zie afvoerintensiteit. (4)			
33	specifieke neerslag	De neerslag die per eenheid van horizontaal oppervlak valt.	mm	$L^{-2} M$	-
34	stationaire stroming (permanente stroming)	De stroming waarbij gedurende de beschouwde periode de plaatselijke snelheid niet verandert ($\partial v / \partial t = 0$).	-	-	-
35	stromend water	Stromingstoestand waarbij de watersnelheid kleiner is dan de voortplantingssnelheid van lange golven. Hierdoor planten storingen zich ook in bovenstroomse richting voort.	-	-	-

Nr.	Term	Omschrijving	Gangbare eenheid	Dimensie	Symbool
		Toelichting: hierbij geldt $Fr (= v/\sqrt{g \cdot A/B}) < 1$ Fr = getal van Froude v = gemiddelde snelheid g = versnelling van de zwaartekracht A = netto oppervlakte (zie bij 16) B = breedte van de waterspiegel (zie bij 16) Bij deze stroming overheerst de invloed der zwaartekracht t.o.v. die der interne traagheidskrachten.			
36	stroomgebied	Een gebied waaruit het afstromende water door één bepaalde waterloop wordt afgevoerd.	-	-	-
37	stuwkromme	De waterspiegel in een waterloop (48) waar de diepte groter is dan de evenwichtsdiepte (14) als gevolg van opstuwing benedenstrooms.	-	-	-
38	stuwpeil	Feitelijk of nagestreefd peil op een bepaalde plaats in een stuwpand.	cm	L	S.P.
39	valkromme	Zie negatieve stuwkromme. (23)			
40	verhang	Het quotiënt van het verval (41) tussen twee punten en hun afstand.	-	dim.loos	S
41	verval	Verskil in waterhoogte tussen twee punten van een waterloop (48).	cm	L	Δh (ΔH)
42	wateraanvoer	Het (kunstmatig) aanvoeren van water teneinde in droge perioden te voorkomen dat watertekorten optreden.	-	-	-
43	waterbalans	De vergelijking van de hoeveelheden water betrokken bij toevoer, afvoer, onttrekking en verandering in berging over een bepaalde periode en binnen een gegeven gebied: $P + K + I = E + V + Q + W$ waarin: P = neerslag K = kwel I = wateraanvoer E = verdamping V = open water- en grondwater berging Q = afvoer W = wegzijging	-	-	-

Nr.	Term	Omschrijving	Gangbare eenheid	Dimensie	Symbol
44	waterbeheer	Het geheel van onderzoeken, plannen, technische werken en bestuurlijke maatregelen dat dient om te komen tot een zo doelmatig mogelijk integraal beheer van het aanwezige grond- en oppervlaktewater.	-	-	-
45	waterbeheersing	Het geheel van meten en regelen van debieten (10), waterstanden en stroomsnelheden ten behoeve van het waterbeheer (44).	-	-	-
46	waterconservering	Het beperken of voorkomen van waterafvoer teneinde in droge perioden watertekorten te beperken of te voorkomen.	-	-	-
47	waterkering	Het keren van water door middel van dammen, kaden, dijken enz.	-	-	-
48	waterloop*)	Een langgerekte verlaging in het terrein van natuurlijke of kunstmatige oorsprong die permanent of periodiek stromend water bevat.	-	-	-
49	waterlijnen:	a. normaalwaterlijn De verbindingsslijn van de waterstanden in een waterloop bij een afvoer die gemiddeld gedurende 10 à 20 dagen per jaar wordt bereikt of overschreden ($Q_n \approx \frac{1}{2} Q_h$).	-	-	N.W.
		b. hoogwaterlijn De verbindingsslijn van de waterstanden in een waterloop bij een afvoer die gemiddeld gedurende 1 à 2 dagen per jaar wordt bereikt of overschreden (Q_h).	-	-	H.W.
		c. maximaal waterlijn De verbindingsslijn van de waterstanden bij een afvoer die gemiddeld gedurende circa 1 à 2 dagen per 100 jaar wordt bereikt of overschreden ($Q_m \approx \frac{1}{2} Q_h$).	-	-	M.W.

* Naast specifieke benamingen zijn er nog vele andere in gebruik: tocht, wetering, vaart, sloot, gracht, leiding, open-leiding, gang, wijk, priel, geul enz.

Toelichting: deze termen worden veelal regionaal gebruikt om waterlopen aan te duiden van bepaalde afmeting, functie, oorsprong, beheerstoestand, e.d. De namen geven ook een zekere rangorde van belangrijkheid of afmeting aan die echter niet algemeen geldend is. Geadviseerd wordt dan ook als het om de afwatering gaat, de rangorde in een waterlopendsysteem aan te geven met (van groot naar klein) primair, secundair en tertiair.

Nr.	Term	Omschrijving	Gangbare eenheid	Dimensie	Symbool
50	waterscheiding	Grens tussen twee stroomgebieden (36). (De waterscheiding voor het grondwater hoeft niet samen te vallen met die van het oppervlakte-water; zie figuur).	-	-	-

51	watervoorziening	Aanvoer van water door waterlopen en bijbehorende kunstwerken	-	-	-
52	wegzijging	Neerwaartse stroming van grondwater.	-	-	-

1.1.2. Benodigde basisinformatie voor het ontwerpen van waterbeheersingsplannen

Het ontwerpen van waterbeheersingsplannen is een complexe zaak en vereist veel ervaring en een goed gebiedsinzicht. De ontwerptechniek is dan ook enigszins afhankelijk van de topografie van het gebied en de wijze van beheer. De procedure bij het ontwerpen van een waterbeheersingsplan is als volgt:

- basisgegevens verzamelen en op hun bruikbaarheid controleren (fouten, verouderde gegevens);
- normen opstellen voor het planontwerp;
- probleemanalyse uitvoeren en bestaande situatie doorrekenen om eventuele knelpunten vast te stellen;
- afhankelijk van de verbeteringsbehoefte een plan ontwikkelen;
- evaluerend ontwerpen, dat wil zeggen dat de evaluatie een sturend effect heeft op de verdere planontwikkeling.

In dit hoofdstuk V.1.1 worden een aantal belangrijke onderdelen van de ontwerptechniek toegelicht. Evenwel worden niet alle details behandeld, maar vinden wel de nodige literatuurverwijzingen plaats. Wanneer er normen worden genoemd, moet ervan worden uitgegaan dat dit richtwaarden zijn. Een ontwerper moet bij het maken van waterbeheersingsplannen wel richtlijnen gebruiken, maar tevens nagaan of het gebruik hiervan in concrete praktijksituaties zinvol is. Het is namelijk niet mogelijk om alle voorkomende praktijkproblemen in richtlijnen te vangen. Kortom, het ontwerpen van waterbeheersingsplannen is een kunst.

Overzicht van benodigde basisgegevens

Alvorens met het ontwerp van een waterbeheersingsplan te beginnen, dienen een aantal gegevens van het gebied bekend te zijn. De volgende gegevens kunnen worden onderscheiden:

TOPOGRAFISCHE GEGEVENS:

1. Topografische kaart
2. Bodemkaart
3. Hoogtekaart
4. Nutsleidingenkaart
5. Cultuurkaart

HYDROLOGISCHE GEGEVENS:

1. Grondwatertrappenkaart
2. Afvoernormenkaart met gegevens over afvoer- en aanvoernormen van landelijke en stedelijke gebieden
3. Peilenkaart met gegevens over droogleggingsnormen

WATERSTAATKUNDIGE GEGEVENS:

1. Waterstaatskaart
2. Terreinkaart met tracés waterlopen en wegen, plaats kunstwerken en opgenomen dwarsprofielen
3. Stroomgebiedenkaart
4. Kaart met te handhaven waterlopen vanwege natuur, landschap, bebouwing e.d.
5. Dwars- en lengteprofielen van bestaande waterlopen
6. Afmetingen en hoogteligging van bestaande kunstwerken en riooloverstorten

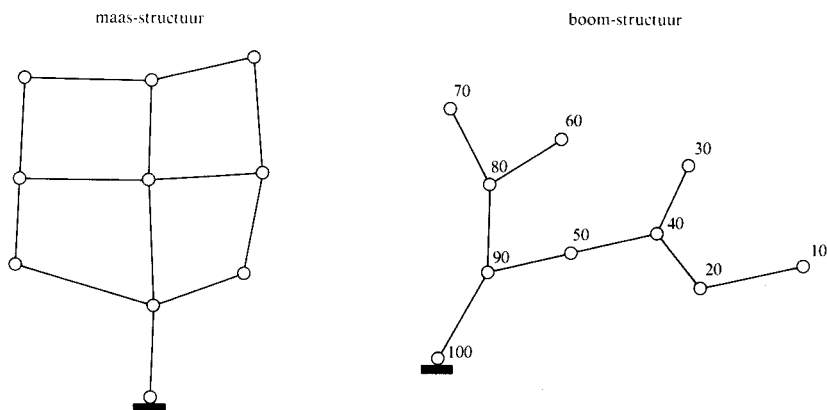
HYDRAULISCHE GEGEVENS:

1. Wandruwheidsfactor waterlopen (k_M)
2. Maximum toelaatbare stroomsnelheden in waterlopen en kunstwerken
3. Taludhellingen waterlopen
4. Intree-, wrijvings-, uittree- en bochtverlies-coëfficiënten van duikers, bruggen en onderleiders
5. Hydraulische coëfficiënten voor stuwen
6. Bergingscapaciteit waterlopen
7. Getijbeweging van de zee
8. Richting en kracht van de wind
9. Overige plan-normen

Hoofdstructuren van waterbeheersingsplannen

Voor de dimensionering van open waterlopen met bijbehorende kunstwerken wordt het stelsel geschematiseerd tot knooppunten en takken, zie figuur 1.1.1.

Het ontwerp van de hoofdstructuur van een waterlopenplan kan bestaan uit een boom- of een maasstructuur of uit een combinatie van beide. In Nederland hebben de meeste waterlopenplannen een boomstructuur. Deze vorm is rekentechnisch verreweg de eenvoudigste, doordat debiet en stroomrichting in alle waterlopen bekend zijn. De maas- of netstructuur zal echter gekozen worden in situaties waar deze bijvoorbeeld in de bestaande toestand reeds in grote waterlopen aanwezig is, of waar dwarsverbindingen in verband met waterinlaat, doorspoelen van waterlopen in stedelijke gebieden, ontlasten van te handhaven beken of scheepvaart nodig zijn.



Figuur 1.1.1. Hoofdstructuren waterlopenplan.

Plankaart

Op grond van de basisgegevens wordt een plankaart gemaakt. Aan de hand van de begrenzingen van de afwaterende onderdelen wordt de lengte van de waterlopen bepaald en worden deze per knooppunt genummerd. Tevens wordt een letteraanduiding aan de kunstwerken gegeven.

In figuur 1.1.2 is een voorbeeld gegeven van een genummerde plankaart; figuur 1.1.3 geeft de legenda van de plankaart van een waterbeheersingsplan.

De knooppuntenummering begint bovenstrooms met het getal 10 en wordt verder in tientallen uitgevoerd, zodat bij eventuele wijzigingen gemakkelijk nummers tussen te voegen zijn.

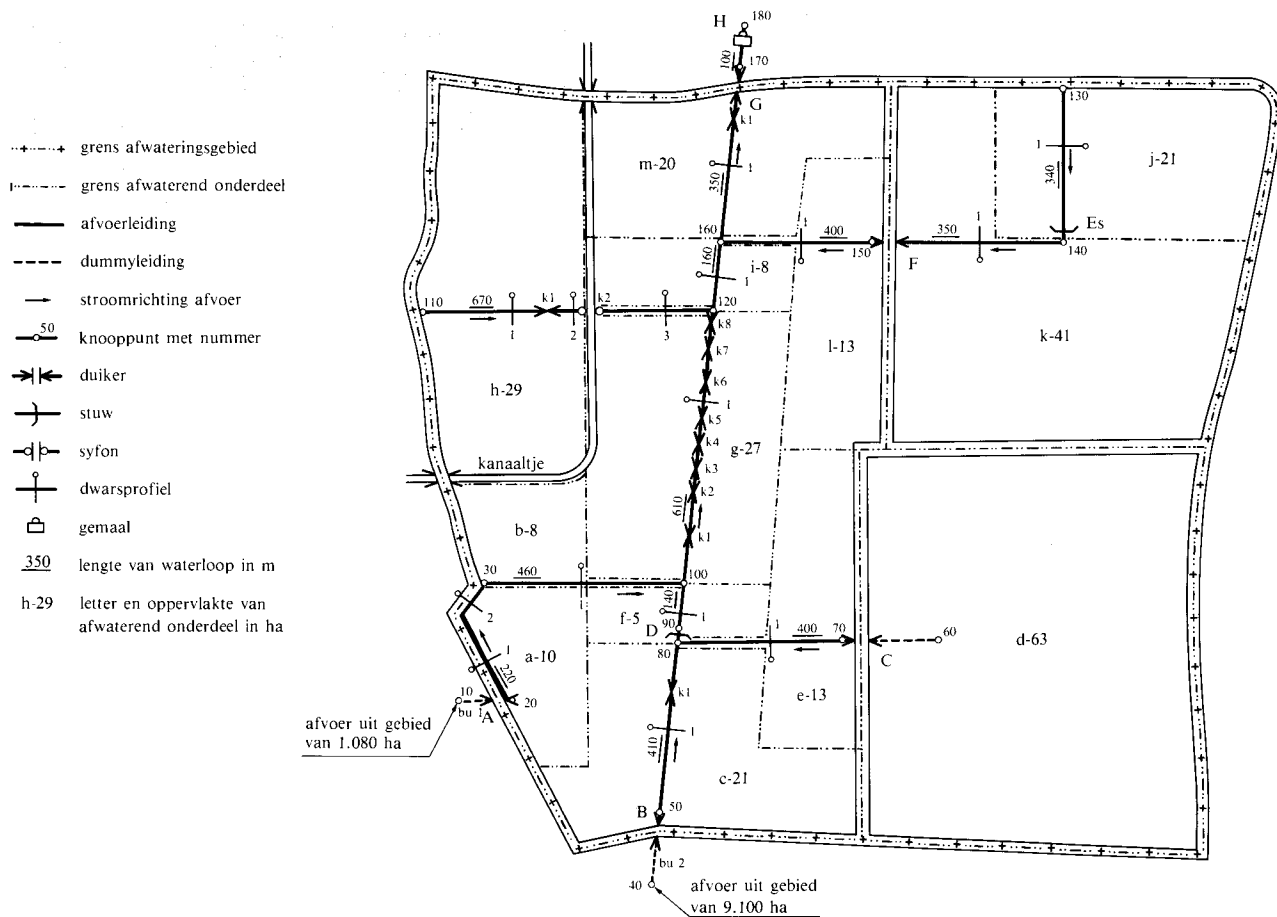
Bestaat het gebied uit afzonderlijke stroomgebieden, dan kan de nummering van een volgende eenheid beginnen bij het volgende 100-tal. Bij waterlopen die alleen voor aanvoer dienen, kan aan het knooppuntsnummer een i toegevoegd worden. Waterlopen die zowel een afvoer als een aanvoerfunctie hebben, worden als afvoerwaterloop genummerd. De kunstwerken die in een knooppunt zijn gelegen, worden alfabetisch genummerd: A, B, C ..., AA, AB ..., BA, BB ... enz.

Tussenliggende kunstwerken worden met k1, k2 ... enz. genummerd. Inlaatkunstwerken worden met een i aangegeven, bijvoorbeeld Ai. Kunstwerken die zowel voor afvoer als voor aanvoer dienen, worden als afvoerkunstwerk genummerd. Stuwen worden met een s aangegeven, (bijvoorbeeld As), onderleiders met een o (Ao) en gemalen met een g (Ag). Afwaterende onderdelen krijgen kleine letters a, b, c ..., aa, ab ..., ba, bb ... enz.

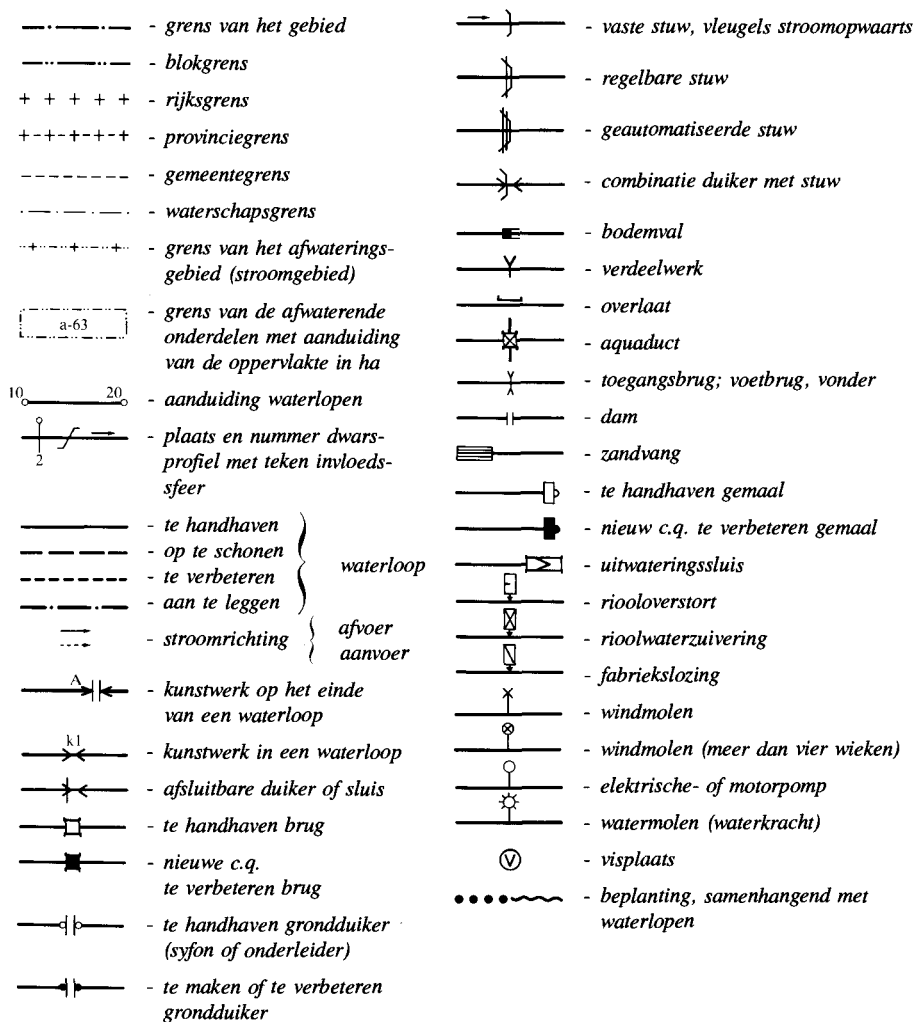
Oppervlakten buiten het plangebied worden met bu1, bu2 ... enz. aangeduid.

Dwarsprofielen worden per waterloop stroomafwaarts genummerd.

Liggen in waterloop 110 bijvoorbeeld 3 dwarsprofielen, dan worden deze op de plankaart met een streepje en een nummer (1, 2 of 3) rechts van de waterloop aangegeven. Hierbij wordt rechts bepaald door met de stroomrichting mee te kijken.



Figuur 1.1.2. Voorbeeld plankkaart waterlopenplan.



Figuur 1.1.3. Legenda van de plankaart van een waterbeheersingsplan.

Op de plankaart, waarvan de schaal gewoonlijk 1:10.000 is, kunnen worden aangegeven:

- a. tracés van de waterlopen, voorzien van nummers;
- b. de kunstwerken met de bijbehorende kentekens;
- c. de stroomrichtingen bij afvoer en bij aanvoer, zodanig dat geen twijfel over deze richtingen mogelijk is;
- d. de begrenzing van de onderdelen, op een dusdanige wijze dat uit de figuratie blijkt via welke waterloop (of kunstwerk) elk onderdeel afwatert, respectievelijk van water voorzien wordt;
- e. het kenteken van alle onderdelen, eventueel met daarachter (door een horizontaal streepje verbonden) de oppervlakte in ha;
- f. de plaats van de dwarsprofielen met nummer;
- g. de plaats van de riooloverstorten, rioolwaterzuiveringen of fabriekslozingen;
- h. de legenda.

Uitgangspunten voor ontwerp-debieten

In de praktijk wisselen afvoer- en ook aanvoerdebieten voortdurend en daarmee ook de waterstanden. Dit praktijkgegeven moet vertaald worden naar criteria, waarmee een waterbeheersingsplan goed kan worden ontworpen. Hiertoe worden in het onverharde landelijke gebied voor de drooglegging drie karakteristieke grootheden gehanteerd, namelijk:

Normaal waterpeil (N.W.-peil)

Het N.W.-peil is het peil dat 10 à 20 dagen per jaar wordt bereikt of overschreden. Deze grootheid geeft aan welke afvoeren in de winter met vrij grote frequentie voorkomen en wordt tevens gebruikt ter beoordeling van de afwatering in het groeiseizoen. In dit seizoen moet de ontwatering optimaal kunnen functioneren, ook bij enige begroeiing in de waterlopen.

Hoog waterpeil (H.W.-peil)

Het H.W.-peil is het peil dat 1 à 2 dagen per jaar wordt bereikt of overschreden. In bemalen gebieden is de bij het H.W.-peil behorende afvoer bepalend voor de capaciteit van de bemaling (zie hoofdstuk V.1.2. Gemalen).

Maximaal waterpeil (M.W.-peil)

Het M.W.-peil is het peil dat 1 à 2 dagen per 100 jaar wordt bereikt of overschreden. Bij dit zeldzaam optredende peil mogen geen kunstwerken worden beschadigd of dure gewassen en gebouwen in het water komen te staan.

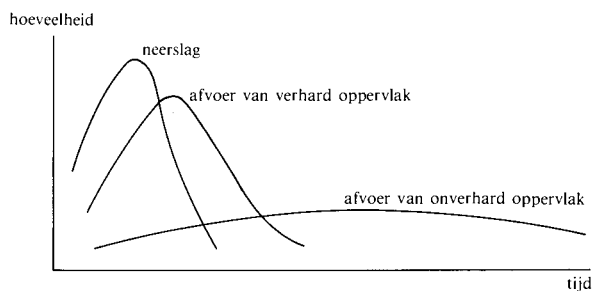
In Nederland is in verschillende gebieden met ongestremde lozing onderzoek verricht naar het verband tussen de bovengenoemde karakteristieke grootheden en de bijbehorende debieten. Er bestaat een globale relatie, die in tabel 1.1.1 is weergegeven.

Tabel 1.1.1. Karakteristieke grootheden voor de afwatering met hun onderlinge relaties.

Peil	Afvoer	Frequentie
Normaal waterpeil (N.W.)	$Q_n \approx \frac{1}{2}Q_h$	10 à 20 d · jaar ⁻¹
Hoog waterpeil (H.W.)	Q_h	1 à 2 d · jaar ⁻¹
Maximaal Waterpeil (M.W.)	$Q_m \approx 2Q_h$	1 à 2 d · 100 jaar ⁻¹

Bij het ontwerpen van waterbeheersingsplannen moeten de waterstanden en stroomsnelheden voldoen aan de gestelde criteria bij normaalwaterafvoer (N.W.), hoogwaterafvoer (H.W.), indien aanwezig aanvoer en in hellende gebieden ook bij maximum waterafvoer (M.W.). Ook moeten plannen soms vanuit beheerstechnische overwegingen nog doorge-rekend worden met afvoeren bij andere frequenties of met variabele stuwstanden. Veelal begint het planontwerp met het doorrekenen van de bestaande situatie om de knelpunten in het plan vast te stellen. Knelpunten doen zich in de regel voor als de gewenste waterpeilen niet worden bereikt en/of als de stroomsnelheden worden overschreden.

In het bovenstaande is steeds uitgegaan van onverharde gebieden. In bebouwde gebieden, waartoe ook de glastuinbouw behoort, hebben we te maken met deels verharde gebieden. In deze gebieden is het neerslagafvoerproces afwijkend van dat in landelijke gebieden, door de snelle wijze waarop de afvoer op de neerslag reageert (zie figuur 1.1.4). De afvoer van verharde gebieden komt vaak via riooloverstorten in het landelijke gebied. De waterstanden in het landelijk gebied worden bij afvoeren uit bebouwde gebieden, sterk beïnvloed door de dynamische berging in het gebied en de stroomtijden van het af te voeren water. Daarom wordt in deze gevallen een waterbeheersingsplan niet-stationair doorge-rekend.



Figuur 1.1.4. Schematische weergave van de afvoer van een verharde en een onverharde oppervlakte.

Voor de berekening van het afvoerproces heeft men dan behoefte aan gegevens over extreme neerslagintensiteiten. Bij riooloverstorten wordt bijvoorbeeld rekening gehouden met een afvoer die met een frequentie van $1 \times$ per 10 jaar op het waterlopenstelsel loost, waarbij een drooglegging van 0,3 à 0,4 m acceptabel is. In glastuinbouwgebieden bijvoorbeeld mag de drooglegging, bij een afvoer met een frequentie van $1 \text{ à } 2 \times$ per 100 jaar, zover

teruglopen, dat nog juist geen inundatie optreedt (zie par. V. 1.1.4. Ontwerp-afvoer, respectievelijk aanvoer).

Afvoernormenkaart

De gegevens over afvoer- en aanvoernormen worden overzichtelijk op een zogenaamde 'afvoernormenkaart' (schaal 1:10.000) vermeld. Op deze kaart staan dan:

- a. afvoernormen in $l \cdot s^{-1} \cdot ha^{-1}$ voor landelijke gebieden, die met een frequentie van $1 \times$ per jaar voorkomen en bepaald worden uit gegevens van de neerslag, kwel, wegzijging, bodemkaart, grondwatertrappenkaart, cultuurkaart, hoogtekaart en ontwateringssysteem;
- b. afvoernormen voor stedelijke gebieden, zoals maatgevende afvoeren voor riooloverstorten, rioolwaterzuiveringen, regenriolen en fabriekslozingen. Op de afvoernormenkaart wordt tevens de plaats van de lozingen in het waterbeheersingssysteem aangegeven, terwijl op aparte staten de maatgevende afvoeren met hun tijdsduren bij frequenties van $1 \times$ per jaar, $1 \times$ per 10 jaar en $1 \times$ per 100 jaar worden vermeld;
- c. afvoernormen voor glastuinbouwgebieden met frequenties van $1 \times$ per jaar, $1 \times$ per 10 jaar en $1 \times$ per 100 jaar;
- d. aanvoernormen en de plaats van inlaatkunstwerken;
- e. afvoernormen met de bijbehorende oppervlakten van gebieden, waarvan de afvoer door het te ontwerpen waterbeheersingssysteem moet worden getransporteerd. Of aanvoernormen indien de gebieden vanuit het waterbeheersingssysteem van water worden voorzien.

Voor meer informatie over afvoer- en aanvoernormen wordt verwezen naar par. V. 1.1.4. Ontwerp-afvoer, respectievelijk aanvoer.

Peilenkaart

Een peilenkaart verschaft gegevens over gewenste peilen in de waterlopen, die als uitgangspunt voor het ontwerpen van een waterbeheersingsplan worden genomen. In principe wordt het gewenste peil in de waterloop gevonden door de maaiveldhoogte te verminderen met de gewenste drooglegging, rekening houdend met eventuele veranderingen in maaiveldhoogten onder andere als gevolg van klink, egalisatie, ophoging en dergelijke. De droogleggingseis wordt aangegeven met een zekere tolerantiebreedte, die doorgaans naar de natte kant iets smaller is dan naar de droge kant.

Voor meer informatie over droogleggingseisen wordt verwezen naar hoofdstuk III.4.2. Afwatering. Door ongelijke hoogteligging van het maaiveld is het niet altijd mogelijk om voor het gehele peilvak een gewenst peil te bepalen dat precies aan de gestelde eisen voldoet. Een marge van 10% van de oppervlakte te nat en 10% van de oppervlakte te droog is in dit verband gebruikelijk. De aaneengesloten oppervlakten die niet aan de gestelde droogleggingseis voldoen, mogen niet groter zijn dan circa 0,5 ha. Om te controleren of het gekozen wenspeil aan de gestelde criteria van 10% te nat en 10% te droog voldoet, wordt een zogenaamde *vlekkenkaart* gemaakt. Hierop worden in kleur de oppervlakten die te nat of te droog zijn aangegeven, zodat snel te zien is of het bepaalde wenspeil juist is.

De gewenste peilen moeten nu vastgesteld worden bij de N.W.- en H.W.-afvoersituatie en bij hellende gebieden ook bij de M.W.-afvoersituatie. Op de peilenkaart (schaal 1:10.000) komen nu als regel de volgende gegevens voor:

- a. tracés van de waterlopen;
- b. pijltjes voor de stroomrichtingen, zodanig dat de afvoer- en inlaatrichtingen bepaald zijn; in waterbeheersingssystemen met een netstructuur zal dit niet altijd mogelijk zijn;
- c. de gewenste waterstanden bij H.W.- en N.W.-afvoer (in hellende gebieden ook bij M.W.-afvoer), op alle van belang zijnde plaatsen in het waterbeheersingssysteem en op de grens waar waterlopen het beschouwde gebied verlaten of binnenkomen;
- d. bij elke stuw het gewenste stuwpeil.

In een poldergebied maakt de relatief vlakke ligging het in principe mogelijk een peilenplan te ontwerpen, dat weinig afwijking van de gestelde ontwerppeilen te zien geeft. De vlakke ligging betekent echter ook een klein beschikbaar verhang, wat grote afmetingen van de waterlopen en kunstwerken tot gevolg heeft. Uit kostenoverwegingen is het nodig een toelaatbare overschrijding van het waterpeil bovenstrooms in het gebied en een toelaatbare onderschrijding bij het lozingspunt aan te geven. Bij afwijkende hoogteligging van grotere onderdelen zullen stuwen of onderbemalingen rendabel zijn.

In hellende gebieden wordt op ieder knooppunt een wenspeil aangegeven. Dit houdt in dat de peilvakken waarvoor het wenspeil geldt, betrekkelijk klein zijn. Ook wordt in hellende gebieden vaak het verhang verkleind door de bouw van stuwen. Dit is noodzakelijk om de stroomsnelheden te verkleinen. Hierdoor zal benedenstrooms in het stuwpan de waterstand het gewenste niveau iets overschrijden en bovenstrooms iets onderschrijden.

1.1.3. Stromingstypen en stromingsclassificatie in open waterlopen

In deze paragraaf wordt een korte toelichting gegeven op de volgende van belang zijnde stromingstoestanden in open waterlopen:

- laminaire en turbulente stroming;
- stromend en schietend water;
- stationaire en niet-stationaire stroming;
- eenparige en niet-eenparige stroming.

De stromingstypen van het water worden bepaald door de viscositeit en de zwaartekracht. Deze stromingstypen kunnen door middel van kengetallen worden weergegeven. Een overzicht is in het volgende gegeven.

Laminaire en turbulente stroming

Het effect van de viscositeit wordt weergegeven door het getal van Reynolds (= R_e):

$$R_e = \frac{vR}{\nu} \quad (1.1.1)$$

waarin:

$$\begin{aligned} v &= \text{gemiddelde snelheid} & (\text{m} \cdot \text{s}^{-1}) \\ R &= \text{hydraulische straal} & (\text{m}) \\ \nu &= \text{kinematische viscositeit} & (\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}) \end{aligned}$$

Voor de stroming in open waterlopen kan worden gesteld dat:

(Ven te Chow, 1959)

$$\begin{aligned} R_e < 500 & \quad \text{de stroming is laminair} \\ 500 < R_e < 2.000 & \quad \text{de stroming bevindt zich in overgangszone} \\ R_e > 2.000 & \quad \text{de stroming is turbulent} \end{aligned}$$

Laminaire stroming treedt alleen op in waterlopen met zeer klein profiel en bij kleine snelheden. In waterlopen zoals die hier ter sprake komen, zal alleen turbulente stroming optreden.

Stromend en schietend water

Het effect van de zwaartekracht wordt weergegeven door het getal van Froude (= Fr):

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{g \cdot D}} \quad (1.1.2)$$

waarin:

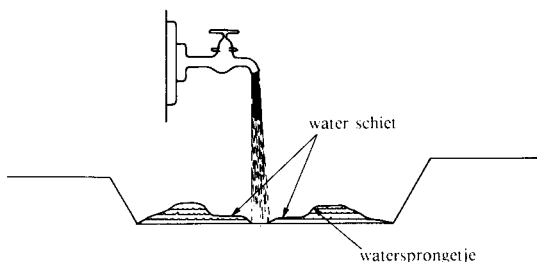
$$\begin{aligned} v &= \text{gemiddelde snelheid} & (\text{m} \cdot \text{s}^{-1}) \\ g &= \text{versnelling van de zwaartekracht} & (\text{m} \cdot \text{s}^{-2}) \\ D &= \text{hydraulische diepte} = A \cdot B^{-1} & (\text{m}) \\ A &= \text{natte oppervlakte} & (\text{m}^2) \\ B &= \text{natte bovenbreedte} & (\text{m}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Fr < 1 & \quad \text{water stroomt} & (v < v_g; h > y_c; S < S_g) \\ Fr = 1 & \quad \text{water in grenstoestand} & (v = v_g; h = y_c; S = S_g) \\ Fr > 1 & \quad \text{water schiet} & (v > v_g; h < y_c; S > S_g) \end{aligned}$$

waarin:

$$\begin{aligned} h &= \text{waterdiepte} & (\text{m}) \\ v_g &= \text{snelheid in grenstoestand} = \text{grenssnelheid} & (\text{m} \cdot \text{s}^{-1}) \\ y_c &= \text{waterdiepte in grenstoestand} = \text{grensdiepte} = \\ & \quad \text{kritische diepte} & (\text{m}) \\ S_g &= \text{verhang in grenstoestand} = \text{grensverhang} \\ S &= \text{verhang} \end{aligned}$$

Bij stromend water is de stroomsnelheid kleiner dan de voortplantingssnelheid van lange golven, terwijl dit bij schietend water juist andersom is. Hierdoor planten verstoringen zich bij stromend water wel in bovenstroomse richting voort, terwijl dit bij schietend water niet het geval is.



Figuur 1.1.5. Schietend water in een gootsteen.

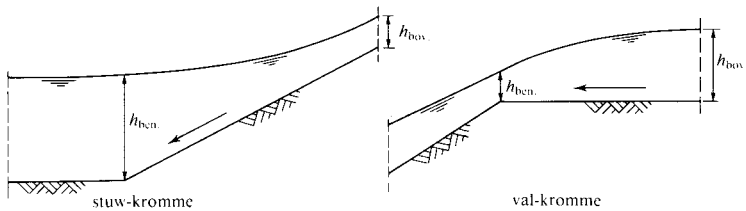
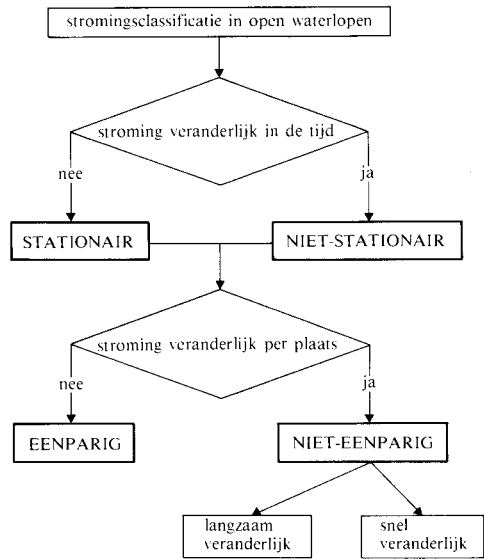
Een voorbeeld van schietend water is te zien als het water uit een kraan op een gootsteen valt (figuur 1.1.5). In waterbeheersingssystemen kan schietend water voorkomen bij waterlopen met een zeer steil verhang, bij bodemvallen, boven stuwkruinen en bij duikers die klein zijn in verhouding tot het te verwerken debiet.

Stationaire, niet-stationaire, eenparige en niet-eenparige stroming

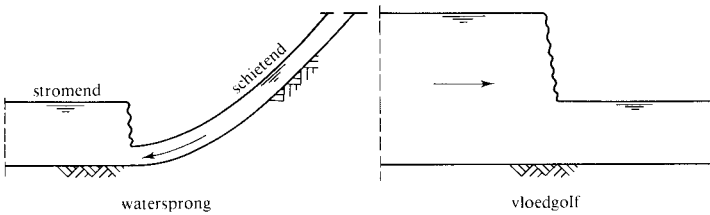
Bij stroming in open waterlopen spelen nog twee aspecten een belangrijke rol, namelijk veranderingen in het stromingspatroon in de tijd (stationair en niet-stationair) en per plaats (eenparig en niet-eenparig).

Een stroming in een waterloop is stationair, indien gedurende een bepaald tijdsinterval de plaatselijke stroomsnelheid en het waterpeil niet veranderen. Bij een niet-stationaire stroming veranderen deze wel in de tijd. Het water stroomt eenparig als de afmetingen van de natte doorsnede, de stroomsnelheid, het verhang en de wandruwheid over de gehele lengte van een waterloop niet veranderen. De waterdiepte wordt dan evenwichtsdiepte (y_n) genoemd en de stroomsnelheid evenwichtssnelheid. Veranderen één of meerdere hydraulische grootheden in de lengterichting van de waterloop, dan stroomt het water niet-eenparig. In figuur 1.1.6 is een classificatieschema van stromingspatronen in open waterlopen weergegeven en in figuur 1.1.7 ter verduidelijking nog enkele voorbeelden van niet-eenparige stroming.

Figuur 1.1.6.
Classificatieschema van stromingspatronen in open waterlopen.



NIET-EENPARIG LANGZAAM VERANDERLIJKE STROMING



NIET-EENPARIG SNEL VERANDERLIJKE STROMING

Figuur 1.1.7. *Enkele voorbeelden van niet-eenparige stroming.*

1.1.4. Berekening afmetingen waterlopen

Berekening bij eenparige stroming

Voor de berekening van de afmetingen van een waterloop bij eenparige stroming wordt gebruik gemaakt van de formule van Manning:

$$Q = A \cdot R^{2/3} \cdot k_M \cdot S^{1/2} \quad (1.1.3)$$

waarin:

Q	= debiet	$(\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$
A	= natte oppervlakte	(m^2)
R	= hydraulische straal	(m)
k_M	= wandruweheidsfactor	$(\text{m}^{1/3} \cdot \text{s}^{-1})$
S	= waterspiegelverhang (= bodemverhang bij eenparige stroming)	

(Ven te Chow, 1959)

De gemiddelde stroomsnelheid kan worden berekend met de formule:

$$v = Q \cdot A^{-1} \quad (1.1.4)$$

waarin:

Q	= debiet	$(\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$
v	= gemiddelde stroomsnelheid	$(\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$
A	= natte oppervlakte	(m^2)

In de hierna volgende paragrafen worden de parameters van de formules 1.1.3 en 1.1.4 nader toegelicht.

Ontwerp-afvoer, respectievelijk aanvoer

Op de afvoernormenkaart (zie par. V. 1.1.2. Afvoernormenkaart) staan afvoerintensiteiten (q) voor landelijke gebieden (onverhard) vermeld, die met een frequentie van 1 à 2 dagen per jaar optreden.

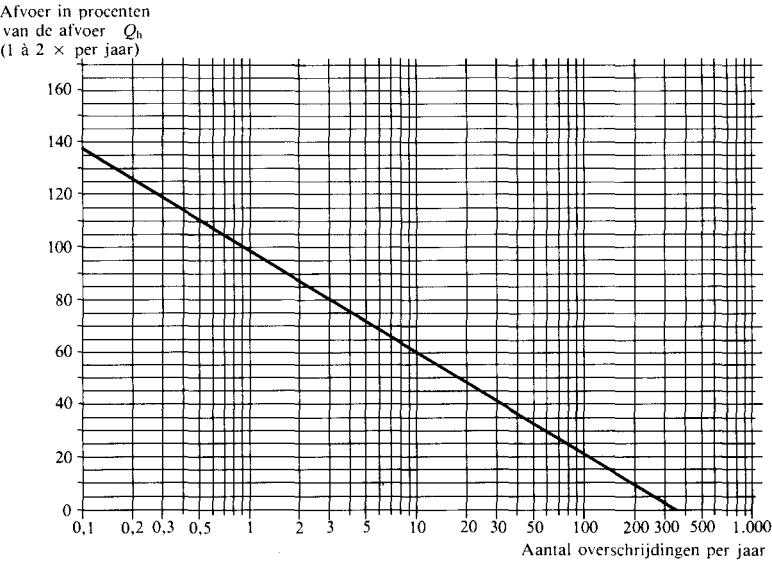
Voor het ontwerpen van een waterbeheersingsplan kunnen voor Nederlandse omstandigheden richtlijnen worden gegeven voor de grootte van deze afvoerintensiteiten. In tabel 1.1.2 zijn deze weergegeven, waarbij uitgegaan is van gemiddelde neerslagcijfers en een berging in de grond die afhankelijk is gesteld van de te realiseren grondwatertrappen (zie par. II. 2.4.4. Grondwatertrappen).

Tabel 1.1.2. Richtlijnen voor de grootte van de afvoerintensiteit q met een frequentie van 1 à 2 dagen per jaar, voor het ontwerpen van waterbeheersingsplannen.

$\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$	$\text{l} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$	Grondsoorten en grondwatertrappen
11,5-14,4	1,33-1,67	drainage-behoefte gronden (polders en gronden met Gt I, II en III)
8,6	1,00	zandgronden met Gt IV en V
5,8	0,67	zandgronden met Gt V* en VI
2,9	0,33	zandgronden met Gt VII
0,9	0,10	bosgebieden en overige gronden zonder zichtbare afvoer met Gt VII

Het te ontwerpen waterbeheersingsplan moet voldoen aan de criteria voor waterpeilen en stroomsnelheden bij afvoerintensiteiten met verschillende frequenties (N.W., H.W. en M.W.).

Ter verduidelijking is hiertoe in figuur 1.1.18 nog een indruk weergegeven van de relatie tussen percentages van de afvoer Q_h (H.W.) en de daarbij behorende frequenties van voorkomen.



Figuur 1.1.8. Relatie afvoer-overschrijdingsfrequentie.

Voor de bepaling van de afvoer Q_h wordt de oppervlakte F (ha) van de afwaterende onderdelen vermenigvuldigd met de afvoerintensiteit q , zodat:

$$Q_h = F \cdot q \tag{1.1.5}$$

De afvoer Q_n (N.W.-afvoer) wordt meestal gelijk gesteld aan $\frac{1}{2}Q_h$ en de afvoer Q_m (M.W.-afvoer) aan $2Q_h$ (zie par. V. 1.1.2. Uitgangspunten voor de ontwerpdebieten). Voor wateraanvoer wordt in de praktijk uitgegaan van een aanvoerintensiteit die varieert van 0,1 tot 0,5 l · s⁻¹ · ha⁻¹. Deze is afhankelijk van de mate van beregening, infiltratie, wegzijging, het gewenste niveau van doorspoeling ten behoeve van waterkwaliteitsverbetering en uiteraard van de beschikbaarheid van water (*Studiecommissie Waterbehoefte Land- en Tuinbouw*, 1980).

Voor uitgebreide toelichting op de afvoernormen wordt verwezen naar hoofdstuk III.4.2. Afwatering.

Voor de omrekening van de verschillende eenheden voor afvoerhoeveelheden wordt verwezen naar tabel 1.1.3.

Tabel 1.1.3. Omrekeningstabel voor verschillende afvoergrootheden.

mm · d ⁻¹	l · s ⁻¹ · ha ⁻¹	m ³ · min ⁻¹ · 100 ha ⁻¹
1,0	0,116	0,694
2,0	0,231	1,389
3,0	0,347	2,083
4,0	0,463	2,778
5,0	0,579	3,472
6,0	0,694	4,167
7,0	0,810	4,861
8,0	0,926	5,556
9,0	1,042	6,250
10,0	1,157	6,944
11,0	1,274	7,639
12,0	1,389	8,333
13,0	1,504	9,028
14,0	1,620	9,722
15,0	1,735	10,416

Indien de oppervlakte F van een gebied een bepaalde grootte overschrijdt, kan de afvoer Q_h gereduceerd worden tot Q_{hr} met de formule:

$$Q_{hr} = (\alpha - \beta \log F)Q_h \quad (1.1.6)$$

Indien $F \geq 10.000$ ha, dan wordt doorgaans voor $\alpha = 1,6$ en $\beta = 0,15$ aangehouden. Op deze manier kan met een gebiedsgrootte-effect worden gerekend.

Het voorgaande had betrekking op afvoeren uit onverharde gebieden. Voor de berekening van het afvoerproces in verharde gebieden heeft men behoefte aan gegevens over extreme neerslagintensiteiten. Gegevens over neerslaghoeveelheden, die betrekking hebben op een geheel jaar, zijn weergegeven in tabel 1.1.4. (*Bouwknegt en Gelok*, 1988)

Tabel 1.1.4 Neerslaghoeveelheden uit partiële duurreeks (1906-1977) voor het gehele jaar in De Bilt, voor
duren van 5 minuten tot 4 dagen voor herhalingstijden van 1× per jaar tot 1× per 100 jaar.
Bron: *Buishands en Velds*, 1980, bewerkt door *Bouwknegt*.

Duur in:			Herhalingstijd 1× per jaar	Herhalingstijd 1× per 2 jaar	Herhalingstijd 1× per 5 jaar	Herhalingstijd 1× per 10 jaar	Herhalingstijd 1× per 25 jaar	Herhalingstijd 1× per 100 jaar
min.	uur	dag	l·s ⁻¹ ·ha ⁻¹ mm	l·s ⁻¹ ·ha ⁻¹ mm	l·s ⁻¹ ·ha ⁻¹ mm	l·s ⁻¹ ·ha ⁻¹ mm	l·s ⁻¹ ·ha ⁻¹ mm	l·s ⁻¹ ·ha ⁻¹ mm
5			180,1 5,4	226,6 6,8	280,9 8,4	330,9 9,9	394,4 11,8	488,3 14,6
15			102,1 9,2	131,6 11,8	166,2 15,0	198,1 17,8	238,5 21,5	298,3 26,9
30			64,3 11,6	83,0 14,9	104,9 18,9	127,6 23,0	153,7 27,7	192,3 34,6
45			48,7 13,1	62,3 16,8	78,2 21,2	94,8 25,6	113,7 30,7	141,8 38,3
60	1		39,3 14,2	49,9 18,0	62,2 22,4	75,8 27,3	90,6 32,6	112,6 40,5
90			30,0 16,2	37,5 20,3	46,3 25,0	55,0 29,7	65,4 35,3	80,8 43,7
120	2		24,3 17,5	30,0 21,6	36,7 26,4	43,3 31,2	51,2 36,9	62,9 45,3
180	3		18,1 19,5	22,2 24,0	27,3 29,5	31,7 34,3	37,4 40,4	45,9 49,5
240	4		14,7 21,1	17,9 25,8	22,1 31,9	25,3 36,4	29,8 42,9	36,4 52,4
300	5		12,4 22,3	15,1 27,1	18,3 33,0	21,0 37,9	24,7 44,4	30,1 54,1
360	6		10,8 23,4	13,0 28,2	15,6 33,8	18,0 39,0	21,1 45,5	25,6 55,2
480	8		8,7 25,1	10,4 30,0	12,5 36,0	14,3 41,3	16,7 48,1	20,2 58,2
600	10		7,4 26,5	8,7 31,4	10,5 37,8	12,0 43,1	13,9 50,0	16,8 60,3
720	12		6,4 27,7	7,5 32,5	9,1 39,3	10,3 44,4	11,9 51,5	14,3 61,9
840	14		5,7 28,7	6,7 33,7	8,1 40,6	9,1 46,0	10,6 53,2	12,7 63,9
960	16		5,1 29,6	6,0 34,8	7,2 41,7	8,2 47,3	9,5 54,7	11,4 65,6
1.080	18		4,7 30,4	5,5 35,8	6,6 42,7	7,5 48,4	8,6 55,9	10,3 67,1
1.200	20		4,4 31,3	5,1 36,8	6,1 43,8	6,9 49,7	8,0 57,4	9,5 68,7
1.440	24	1	3,8 32,6	4,4 38,3	5,2 45,3	6,0 51,4	6,9 59,2	8,2 70,7
1.680	28		3,4 34,0	4,0 39,9	4,7 47,0	5,3 53,3	6,1 61,3	7,3 73,1
1.920	32		3,1 35,4	3,6 41,4	4,2 48,8	4,8 55,1	5,5 63,3	6,5 75,4
2.160	36		2,8 36,8	3,3 43,0	3,9 50,6	4,4 56,9	5,0 65,3	6,0 77,7
2.400	40		2,7 38,2	3,1 44,5	3,6 52,3	4,1 58,7	4,7 67,2	5,5 79,9
2.640	44		2,5 39,7	2,9 46,1	3,4 54,0	3,8 60,5	4,4 69,2	5,2 82,1
2.880	48	2	2,4 41,1	2,8 47,6	3,2 55,7	3,6 62,2	4,1 71,1	4,9 84,2
3.360	56		2,1 42,9	2,5 49,7	2,9 58,0	3,2 64,9	3,7 74,2	4,4 87,9
3.840	64		1,9 44,7	2,2 51,8	2,6 60,3	2,9 67,7	3,4 77,4	4,0 91,7
4.320	72	3	1,8 46,5	2,1 53,9	2,4 62,5	2,7 70,4	3,1 80,5	3,7 95,4
5.040	84		1,6 49,3	1,9 57,1	2,2 66,2	2,5 74,6	2,8 85,2	3,3 101,0
5.760	96	4	1,5 52,0	1,7 60,2	2,0 69,8	2,3 78,7	2,6 89,9	3,1 106,5

Bij het maken van deze tabel is uitgegaan van de partiële duurreeks van de neerslaggegevens van 1906-1977 in De Bilt, zoals deze door *Buishand en Velds* (1980) zijn gepubliceerd. In deze tabel is bijvoorbeeld te lezen dat in één uur met een frequentie van $1 \times$ per 10 jaar een neerslagintensiteit van 27,3 mm of $75,81 \cdot s^{-1} \cdot ha^{-1}$ kan vallen. Voor meer informatie over extreme neerslaghoeveelheden (bijvoorbeeld in zomer en winter) wordt verwezen naar par. III. 2.6. Extreme neerslaghoeveelheden.

Opgemerkt wordt dat de herhalingstijd van een neerslaghoeveelheid niet altijd hoeft samen te vallen met de herhalingstijd van de daarbij optredende hoeveelheid afvoer (en maximale waterstanden). Deze afvoer kan in sommige gebieden (bijvoorbeeld afhankelijk van de verhouding van het percentage verhard en onverhard) nog één of meerdere keren optreden bij een andere hoeveelheid neerslag met dezelfde neerslag-herhalings-tijd.

In hoeverre de herhalingstijd van de neerslag afwijkt van de herhalingstijd van de afvoer is erg moeilijk te bepalen. Daarom verdient het aanbeveling om een waterbeheersingsplan waarbij de afvoer van verharde gebieden een belangrijke rol speelt, met meerdere hoeveelheden neerslag bij verschillende herhalingstijden (bijvoorbeeld $1 \times$ per 10 jaar en $1 \times$ per 100 jaar) door te rekenen. Met behulp van computerprogramma's is dit goed mogelijk (zie par. V. 1.1.8. Berekeningstechnieken). Hierdoor wordt meer inzicht verkregen in de gevoeligheid van de fluctuaties van de waterstanden in het gebied in relatie met de afvoer van de verharde gebieden.

De natte oppervlakte A, de hydraulische straal R en de bodembreedte-waterdiepte verhouding van het dwarsprofiel

De natte oppervlakte A en de hydraulische straal R zijn in de formule van Manning op voorhand onbekende grootheden. Deze grootheden worden bepaald door het te ontwerpen profiel, dat doorgaans trapeziumvormig is en waarbij de taludhelling en de verhouding tussen bodembreedte en waterdiepte gekozen moet worden.

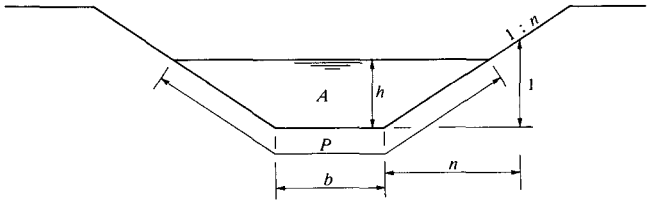
Deze keuze is afhankelijk van factoren als grondsoort, te verwachten potentiaalverschillen tussen de grondwaterstand en het peil in de open waterloop, mate van begroeiing, diepte van de waterloop en mate van erosie door golfslag (*Werkgroep Afvoerberekeningen*, 1979).

In tabel 1.1.5 is een richting aangegeven voor te kiezen taludhellingen onder de waterspiegel bij verschillende grondsoorten. Bij grote waterlopen worden wel geknikte taluds toegepast. De taludhelling boven de waterspiegel kan dan steiler worden genomen.

Tabel 1.1.5. Taludhellingen (1:n)

Grondsoort	Waarden van n
klei, leem, löss, vast veen	1 - 2
zavel, vast zand	1,5 - 2,5
grof zand	1,5 - 3
fijn zand, slap veen	2 - 4

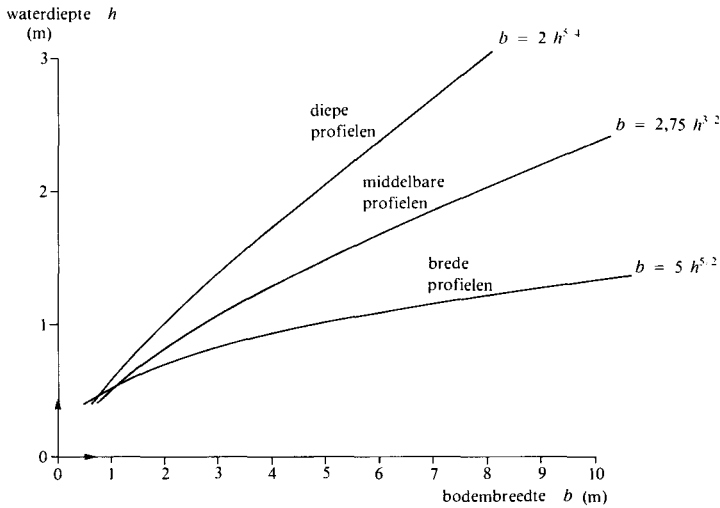
De hydraulische straal R is het quotiënt van de natte oppervlakte en natte omtrek en dus afhankelijk van de te bepalen bodembreedte (b) en waterdiepte (h) (figuur 1.1.9).



$$R = A \cdot P^{-1} \quad (1.1.7)$$

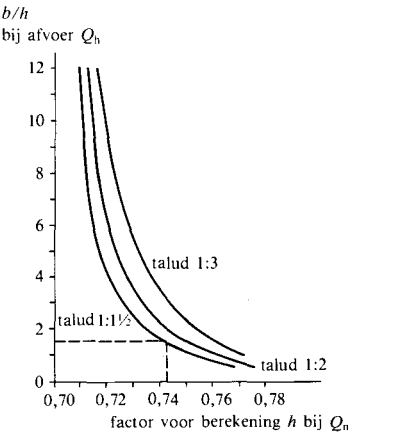
Figuur 1.1.9. Taludhelling n en hydraulische straal R .

Waterlopen worden het meest economisch ontworpen (met minimaal grondverzet), indien zij zo diep mogelijk worden aangelegd. Gestreefd moet worden naar een $b:h$ -verhouding bij Q_h (H.W.) van 1:1. In het algemeen ligt de $b:h$ -verhouding bij de ontwerp-afvoer Q_n (N.W.) tussen 1,5:1 en 4:1 en bij Q_h (H.W.) tussen 1:1 en 3:1. In de praktijk van het ontwerpen blijkt, dat afhankelijk van de grondsoort en de diepte van instabiele grondlagen, vaak voor een bepaald gebied een keus wordt gemaakt uit de volgende drie typen dwarsprofielen, namelijk diepe smalle, middelbare en ondiepe brede. Voor de $b:h$ -verhouding bij afvoer Q_h (H.W.) van deze drie typen dwarsprofielen heeft Van Smaalen (1970), uit de gegevens van vele waterbeheersingsplannen, de in figuur 1.1.10 aangegeven relatie bepaald.



Figuur 1.1.10. Verhouding tussen bodembreedte b en waterdiepte h bij afvoer Q_h (frequentie 1 à 2 dagen per jaar) voor verschillende typen profielen.

Voor omrekening van $b:h$ -verhouding bij Q_n (N.W.) naar die bij Q_h (H.W.) wordt verwezen naar figuur 1.1.11 (Landinrichtingsdienst, 1978). Door de $b:h$ -verhoudingen groot te kiezen, kunnen peilschommelingen als gevolg van een wisselend wateraanbod worden beperkt, maar worden wel grote profielen gemaakt, die veel grondverzet vragen.



Omrekening van waterdiepte h van afvoer Q_h naar afvoer Q_n bij gelijkblijvend profiel volgens formule van Manning ($k_M = 33,8 h^{1/3}$). De grafiek is tevens geschikt voor omrekening van afvoer Q_h naar afvoer Q_n .

Voorbeeld
 Gegeven bij afvoer Q_h en talud 1:1½
 $b = 1,50$
 $h = 1,00$
 $b/h = 1,5$
 berekening voor afvoer Q_n
 $b = 1,50$
 $h = 0,742 \times 1,00 = 0,74$
 $b/h = 1,5/0,74 = 2,02$

Figuur 1.1.11. Omrekening $b:h$ -verhouding bij Q_n (N.W.) en Q_h (H.W.).

Wandruwheid k_M

De stroming in een open waterloop wordt in bepaalde mate geremd door de ruwheid van bodem en taluds, welke toeneemt naarmate er meer plantengroei aanwezig is. Deze remmende invloed wordt tot uitdrukking gebracht in de ruwheidsfactor k_M en is daarmee omgekeerd evenredig. Ook worden weerstanden in de k_M -waarde uitgedrukt, die het gevolg zijn van bochten, aanzandingen, obstakels en andere onregelmatigheden in het dwarsprofiel.

De Werkgroep Waterlopen (1958) heeft tabel 1.1.6 opgesteld, waarin te gebruiken k_M -waarden vermeld zijn, afhankelijk van de begroeiingstoestand van een waterloop. Voor een regelmatig profiel kunnen de in de tabel genoemde hoogste waarden worden aangenomen. De laagste waarden gelden voor onregelmatige profielen.

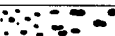
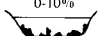
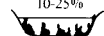
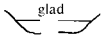
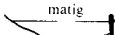
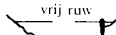
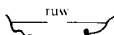
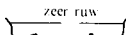
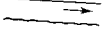
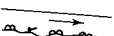
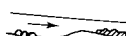
Tabel 1.1.6. k_M -waarden in waterlopen, afhankelijk van de begroeiingstoestand.

Toestand waterloop	k_M -waarde in $m^{1/3} \cdot s^{-1}$
zeer schoon	45 - 30
schoon	35 - 20
licht begroeid	25 - 15
matig begroeid	20 - 10
vrij sterk begroeid	16 - 5
zeer sterk begroeid	< 10

Om een te kiezen k_M -waarde in de praktijk beter te kunnen relateren aan de mate van begroeiing, heeft Bon (1967) een taxatiemethode ontwikkeld. Hierbij wordt uitgegaan van de volgende factoren, die van invloed zijn op de hoogte van de k_M -waarde:

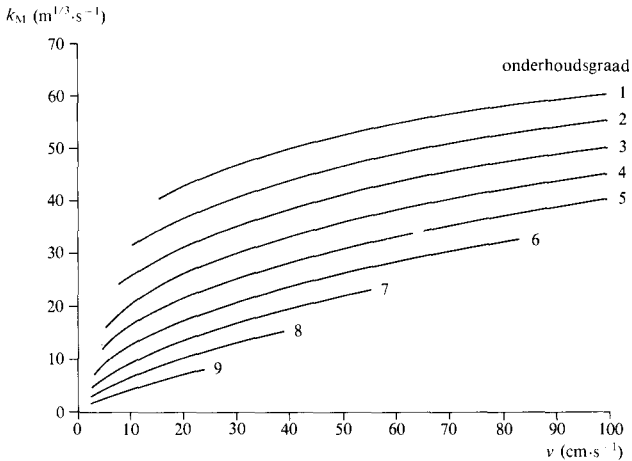
1. de breedte van de waterspiegel met de daarbij behorende waterdiepte;
2. de bedekkingsgraad van de begroeiing van de bodem van de waterloop;
3. de verkleining van het doorstromingsprofiel door de begroeiing (dwarsdoorsnede) rekening houdend met de waterdiepte;
4. de ruwheid van de taluds (afschuivingen, resten van betuining, en dergelijke);
5. obstakels (op of in de bodem, eveneens in samenhang met de waterdiepte (zand-ribbels, dwarskuilen, stenen en dergelijke);
6. materiaaltransport (zand, drijvend vuil).

Voor ieder onderdeel apart wordt de cijferwaarde getaxeerd, zoals aangegeven in de koppen van de kolommen van het taxatieschema in figuur 1.1.12. Het rekenkundig gemiddelde van deze waarden geeft dan de zogenaamde "onderhoudsgraad" van de waterloop aan.

onder-deel nr.	kolom taxatiewaarde	A	B	C	D	E
		1-5	5-10	10-15	15-20	20-25
1	waterbreedte bij $h > 0,1$ m idem bij $h < 0,1$ m	$> 1,5$ m 	$0,75-1,5$ m $> 1,5$ m 	$< 0,75$ m  $0,75-1,5$ m 	$< 0,75$ m 	
2	bodembedekking (bovenaanzicht)	0-10% 	10-25% 	25-50% 	$> 50\%$ 	
3	verkleining doorstromings- profiel	0-10%  $< \frac{1}{20} h$	10-25%  $\frac{1}{20} - \frac{1}{3} h$	25-50%  $\frac{1}{3} - \frac{2}{5} h$	$> 50\%$  $> \frac{2}{5} h$	
4	onderwater talud	glad 	matig 	vrij ruw 	ruw 	zeer ruw 
5	obstakels in verhouding tot water- diepte	geen zandribbels 	weinig stenen, blad, enkele dwarskuilen 	matig puin, bladhopen, zandbanken 	groot steenblokken, stronken, stroomversnellingen 	
6	materiaal transport	helder water weinig drijvend vuil	troebel water zandtransport of veel drijvend vuil			

Figuur 1.1.12. Taxatieschema voor de bepaling van de onderhoudsgraad van waterlopen.

Uit metingen, literatuurgegevens en het taxatieschema is een verband vastgesteld tussen k_M -waarde, stroomsnelheid (v) en de onderhoudsgraad (zie figuur 1.1.13).



Figuur 1.1.13. Samenhang tussen k_M - waarde, stroomsnelheid en onderhoudsgraad.

Als de gemiddelde stroomsnelheid in een waterloop bekend is en de onderhoudsgraad via het taxatieschema bepaald wordt, kan men met behulp van figuur 1.1.13 een k_M -waarde bepalen. In tabel 1.1.7 worden voorbeelden gegeven van de bepaling van de k_M -waarde met behulp van deze methode.

Bij het ontwerpen dient de k_M -waarde te worden gekozen voordat de waterlopen gegraven zijn. Globaal genomen kan men stellen dat kleine, ondiepe waterlopen sneller begroeien dan grote, diepe waterlopen en dat dit in een zware, vruchtbare grond eerder zal plaatsvinden dan in een lichte grond. Verder zal er in de zomer meer begroeiing zijn dan in de winter. In tabel 1.1.8 zijn enkele aanbevelingen gedaan voor bij het ontwerpen te gebruiken k_M -waarden. Hierbij is ervan uitgegaan, dat er in de toekomst normaal zal worden onderhouden. Dit houdt in dat de waterlopen in de winter als schoon worden beschouwd en in de zomer als licht begroeid. Tevens is uitgegaan van rechte waterlopen met trapeziumvormige dwarsprofielen.

Onder normaal onderhoud wordt verstaan dat de begroeiing $2 \times$ per jaar wordt verwijderd. Bij toepassing van veegboten wordt uitgegaan van $6 \times$ vegen per jaar. Het op profiel houden van de waterlopen wordt, afhankelijk van het gebied, normaal $1 \times$ per 5 à 15 jaar gedaan.

Tabel 1.1.7. Voorbeelden van de bepaling van de k_M -waarde m.b.v. de taxatiemethode volgens *Bon* (1967).

Omschrijving onderdelen voor de bepaling van de onder- houdsgraad	Waterloop 1				Waterloop 2		
	groot- heden onder- delen	uit taxatieschema			groot- heden onder- delen	taxatieschema	
		nummer		cijfer- waarde		kolom	cijfer- waarde
		onder- deel	kolom				
waterbreedte	3,50 m	1	A	1	2,00 m	A	4
waterdiepte	1,00 m				0,20 m		
bodembedekking	10%	2	A	5	40%	C	13
verkleining door stroomprofiel	5%	3	A	2	40%	D	16
onderwatertalud	matig ruw	4	B	8	vrij ruw	C	12
obstakels	geen	5	A	1	geen	A	2
materiaal- transport	geen	6	A	1	geen	A	1
totale cijferwaarde				18			48
onderhoudsgraad	18/6 = 3				48/6 = 8		
gemiddelde stroomsnelheid	0,30 m · s ⁻¹				0,10 m · s ⁻¹		
uit figuur 1.1.13 volgt	$k_M = 35 \text{ m}^{1/2} \cdot \text{s}^{-1}$				$k_M = 7 \text{ m}^{1/2} \cdot \text{s}^{-1}$		

In de ontwerptechniek wordt het werken met de in tabel 1.1.8 genoemde klassen voor de k_M -waarden als een bezwaar gevoeld bij de overgang van de ene waterloop naar de andere (zie figuur 1.1.14). Om dit te ondervangen hebben *De Bos en Bijkerk* (1963) de volgende formule ontwikkeld, waarbij de k_M -waarde afhankelijk is van de waterdiepte:

$$k_M = \gamma \cdot h^\delta \tag{1.1.8}$$

waarin:

k_M

=

wanddruwheid

h

=

waterdiepte

γ en δ

=

coëfficiënten

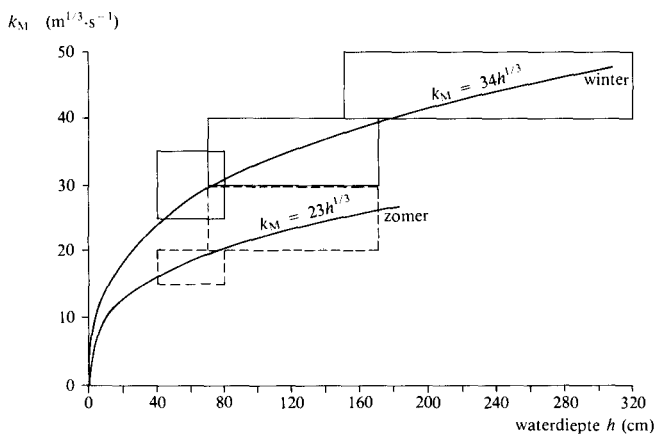
$(\text{m}^{1/2} \cdot \text{s}^{-1})$

(m)

Tabel 1.1.8. k_M -waarden voor het ontwerpen van waterlopen afhankelijk van de grootte van de waterloop en uitgaande van normaal onderhoud.

Grootte waterlopen		k_M -waarden in $m^{1/3} \cdot s^{-1}$ bij normaal onderhoud	
		winter	zomer
kleine	($0,4 < h < 0,8$ m)	35-25	20-15
middelgrote	($0,7 < h < 1,7$ m)	40-30	30-20
grote	($h > 1,5$ m)	50-40	

Als regel wordt voor δ de waarde 1/3 genomen en voor γ de waarde 34 in de winter en 23 in de zomer (zie figuur 1.1.14). Deze formule wordt algemeen gehanteerd bij het ontwerpen van waterbeheersingsplannen.



Figuur 1.1.14. Relatie tussen wandruwheid k_M en waterdiepte h .

Wil men vanwege natuur- of landschapswaarden of uit kostenoverwegingen minder frequent onderhoud uitvoeren, dan moet men voor het ontwerpen van de waterlopen de k_M -waarde hierop aanpassen.

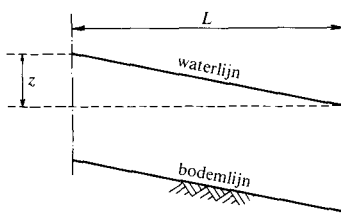
Het verhang S en verval z

Het verval (z) is het verschil in waterstand tussen 2 punten. Liggen deze punten op een afstand L , dan is het verhang (zie figuur 1.1.15):

$$S = z \cdot L^{-1} \tag{1.1.9}$$

Het verhang S is dimensieloos, maar wordt voor de duidelijkheid vaak uitgedrukt in $m \cdot km^{-1}$ (‰).

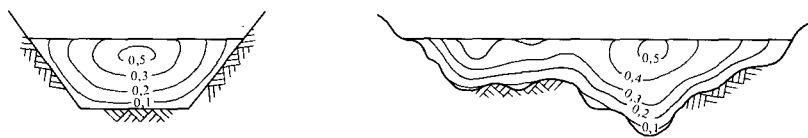
Figuur 1.1.15. Verhang $S = z:L$.



Het verhang S van de waterspiegel is bij eenparige stroming gelijk aan het bodemverhang. Aangezien de snelheid evenredig is met de wortel uit het verhang, is het om economische redenen gewenst een zo groot mogelijk verhang te kiezen. Het toelaatbare verhang is echter begrensd, doordat de stroomsnelheid niet zodanig mag oplopen dat materiaaltransport van enige betekenis in de waterloop op kan treden. Deze eis geeft in hellende gebieden vaak aanleiding tot de bouw van technische stuwen of bodemvallen, of tot het bekleden van de waterlopen. Anderzijds is in vlakke gebieden het verhang vaak beperkt. Daar kan het beschikbare verhang eventueel vergroot worden door het accepteren van onderschrijdingen van de gewenste drooglegging in het bovenstroomse gebied gedurende de perioden met hoge afvoer. Als algemene regel geldt bovendien dat voor een optimaal ontwerp het beschikbare verval zo economisch mogelijk verdeeld moet worden tussen de waterlopen en de kunstwerken.

Toelaatbare stroomsnelheden

De verdeling van de stroomsnelheid in het dwarsprofiel is zodanig, dat deze midden in het profiel het grootst is en naar de bodem en de kanten toe kleiner wordt (figuur 1.1.16).



Figuur 1.1.16. Stroomsnelheids-verdeling in verschillende dwarsprofielen.

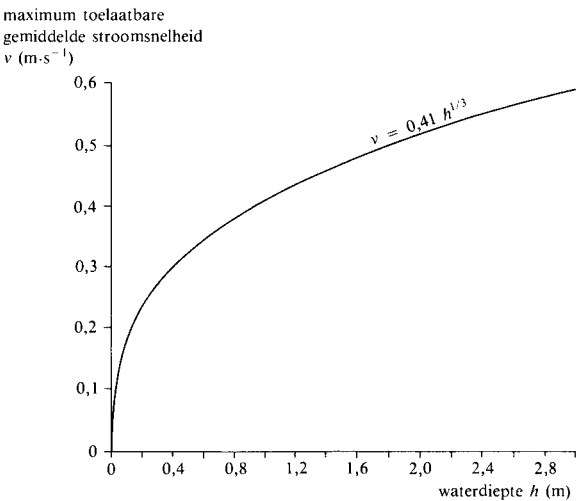
Voor het ontwerpen van waterlopen wordt echter uitgegaan van een gemiddelde stroomsnelheid voor het gehele dwarsprofiel. Om materiaaltransport in de waterloop te voorkomen, dient de stroomsnelheid beneden een zekere kritische snelheid te blijven.

In tabel 1.1.9 zijn bij verschillende grondsoorten de maximum toelaatbare gemiddelde stroomsnelheden aangegeven. Ook moet rekening worden gehouden met het effect dat de snelheidsgradiënt langs de kant en de bodem in relatie tot de gemiddelde stroomsnelheid, bij kleine waterlopen van meer invloed is dan bij grote waterlopen.

Tabel 1.1.9. Maximum toelaatbare gemiddelde stroomsnelheden bij verschillende grondsoorten.

Grondsoort	Maximum toelaatbare gemiddelde stroomsnelheid in m·s ⁻¹
saamenhangende zware grond (klei, leem, löss)	0,60-0,80
zavel, saamenhangende zandgrond en vast veen	0,30-0,60
grof zand	0,20-0,50
fijn zand en slap veen	0,15-0,30

Hierdoor worden in de praktijk als toelaatbare ontwerpsnelheden in bijvoorbeeld zand- en veengebieden voor kleine waterlopen 0,30 m·s⁻¹ aangehouden, voor grote waterlopen ($h > 1,00$ m) 0,50 m·s⁻¹, voor kleigebieden en zeer grote waterlopen 0,70 m·s⁻¹. Om bij het ontwerpen van waterlopen, indien de stroomsnelheid maatgevend is, een geleidelijk verloop te krijgen bij de overgang van kleinere waterlopen naar grotere, wordt wel met een continu verloop tussen toelaatbare stroomsnelheid en waterdiepte gewerkt. *De Bos* heeft een dergelijk verband toegepast voor zandgronden in Drenthe (zie figuur 1.1.17).



Figuur 1.1.17. Door *De Bos* in Drenthe toegepaste relatie tussen maximum toelaatbare gemiddelde stroomsnelheid (v) en waterdiepte (h) in waterlopen in zandige gebieden.

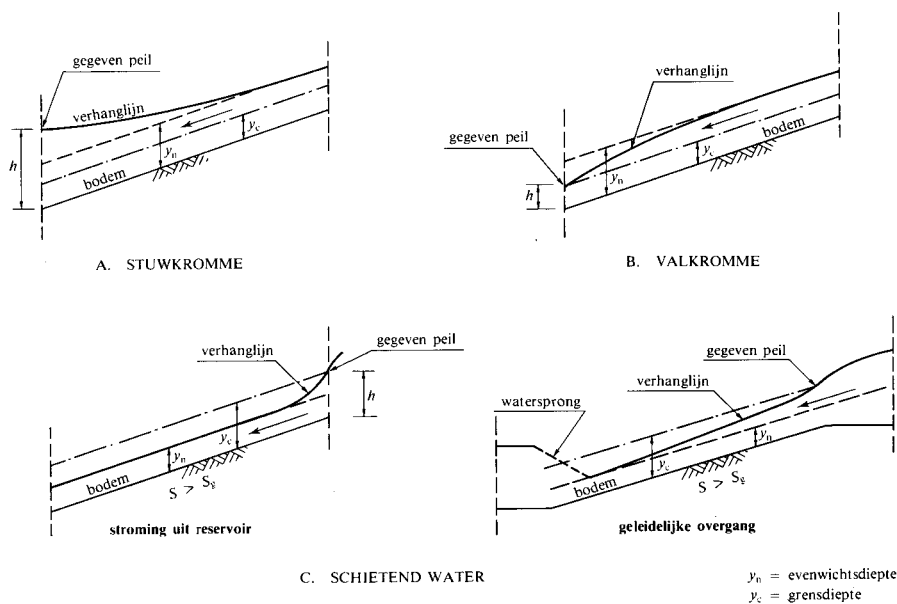
Als uitstroomsnelheid bij kunstwerken in een onbeschermde waterloop kan in het algemeen een hoogst toelaatbare stroomsnelheid aangehouden worden die 50 procent hoger ligt dan de snelheid in tabel 1.1.9.

Bovengenoemde snelheden moeten zeker aangehouden worden bij de ontwerpberekeningen met Q_n (N.W.) en Q_h (H.W.). Bij de controleberekening met Q_m (M.W.) kunnen overschrijdingen worden overwogen, vanwege de lage frequentie van de afvoer Q_m en meer waterdiepte in de waterlopen. Indien bij Q_n en Q_h de kritische snelheden worden overschreden, moet het ontwerp worden aangepast. In het algemeen betekent dit verkleining van het verhang S en de bouw van stuwen. Een andere mogelijkheid is om de waterlopen van een bekleding te voorzien, zodat de toelaatbare stroomsnelheden op kunnen lopen tot circa $2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

Berekening van de verhanglijn bij niet-eenparige stroming

Bij het ontwerpen van waterlopen komt de berekening van verhanglijnen bij niet-eenparige stroming in de volgende gevallen voor:

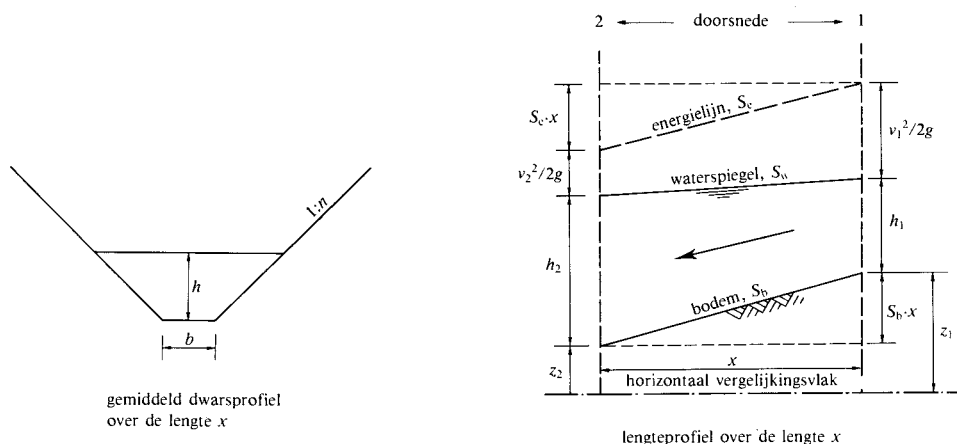
- het water stroomt en de benedenstrooms gegeven waterdiepte (h) is groter dan de evenwichtsdiepte (y_n) (zie figuur 1.1.18A);
- het water stroomt en de benedenstrooms gegeven waterdiepte (h) is lager dan de evenwichtsdiepte (y_n), doch hoger of gelijk aan de grensdiepte (y_c) (zie figuur 1.1.18B);
- het water schiet en de bovenstrooms gegeven waterdiepte (h) is gelijk aan of lager dan de grensdiepte (y_c) doch hoger dan de evenwichtsdiepte (y_n) (zie figuur 1.1.18C). Deze situatie komt in de Nederlandse praktijk sporadisch voor.



Figuur 1.1.18. Enkele voorbeelden van verhanglijnen.

Voor de begrippen stromen, schieten, evenwichtsdiepte en grensdiepte wordt verwezen naar par. V. 1.1.3. Stromingstypen en stromingsclassificatie in open waterlopen.

Voor de berekening van verhanglijnen bestaan verschillende methoden. Een eenvoudige methode, die gemakkelijk met behulp van een programmeerbare zakrekenmachine is toe te passen, is die van Charnomskii (Bos, 1965). De methode werkt met kleine stapjes. In figuur 1.1.19 is een klein stukje getekend van een traject waarover de verhanglijn moet worden berekend.



Figuur 1.1.19. Dwars- en lengteprofiel van een waterloop met een lengte x met gegevens, nodig voor de berekening van een verhanglijn.

De betekenis van de symbolen is als volgt:

- | | | |
|----------|---|----------------------|
| x | = de lengte van het stukje verhanglijn (de helling wordt zo gering verondersteld dat het geen noemenswaard verschil maakt of de lengte langs de helling of horizontaal wordt gemeten) | (m) |
| z | = de afstand van een bodempunt tot een gekozen horizontaal vergelijkingsvlak | (m) |
| S_b | = $(z_1 - z_2)/x$, de helling van de bodem | (m) |
| h | = de waterdiepte t.o.v. de kanaalbodem | (m) |
| g | = de versnelling door de zwaartekracht | ($m \cdot s^{-2}$) |
| v | = de gemiddelde snelheid in een bepaalde dwarsdoorsnede | ($m \cdot s^{-1}$) |
| S_e | = de helling van de energielijn | |
| S_w | = het verhang van de waterlijn | |
| $v^2/2g$ | = de snelheidshoogte | |

De sleutel voor de berekening is de aanname dat de formule van Manning

$$Q = A \cdot R^{2/3} \cdot k_M \cdot S^{1/2} \quad (1.1.3)$$

ook geldt voor de niet-eenparige beweging, mits in plaats van het verhang van de waterlijn, de helling van de energielijn wordt ingevuld (zie par. V. 1.1.4. Berekening bij eenparige stroming).

Voor de berekening van een verhanglijn zijn de volgende grootheden bekend:

- debiet Q
- wandruwheidsfactor k_M
- afmetingen van het gemiddeld dwarsprofiel over de lengte x
- bodem-verhang S_b

Met behulp van deze grootheden is de helling van de energielijn te berekenen uit:

$$S_e = Q^2 / (A^2 \cdot R^{4/3} \cdot k_M^2) \quad (1.1.10)$$

Wanneer S_e bekend is, kan een vergelijking worden opgesteld die de elementen van doorsnede 1 gelijk stelt aan de elementen van doorsnede 2 (zie figuur 1.1.19):

$$S_b \cdot x + h_1 + v_1^2/2g = h_2 + v_2^2/2g + S_e \cdot x \quad (1.1.11)$$

Hieruit volgt dan:

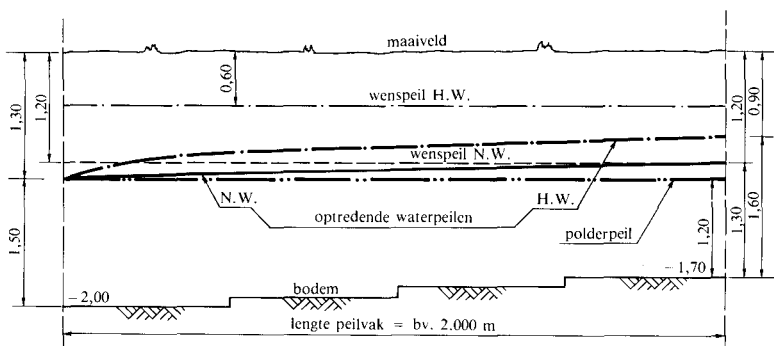
$$x = (h_2 - h_1 + v_2^2/2g - v_1^2/2g) / (S_b - S_e) \quad (1.1.12)$$

Door bij stromend water uit te gaan van een bekende h_2 en door h_1 telkens met een vaste waarde (bijvoorbeeld 1 mm of 1 cm, afhankelijk van de vereiste nauwkeurigheid) te verlagen (of voor een valkromme te verhogen) kan de lengte x berekend worden. Bij schietend water moet worden uitgegaan van een bekende h_1 en h_2 telkens met een vaste waarde worden verlaagd. De herhaling van deze overzichtelijke berekening levert dan punt voor punt de verhanglijn over de gewenste lengte in een waterloop op (*Ven te Chow*, 1959).

Ontwerpprocedure waterlopen met Q_n (N.W.), Q_h (H.W.) en Q_m (M.W.)

In deze paragraaf zal nader worden ingegaan op het ontwerpen van waterlopen in vlakke poldergebieden en hellende (beek)gebieden. In een poldergebied moeten de waterlopen voldoen aan de gestelde criteria voor waterpeilen en stroomsnelheden bij de afvoeren Q_n (N.W.-afvoer) en Q_h (H.W.-afvoer).

De waterlopen worden in eerste instantie ontworpen met Q_n . Hierbij mogen de werkelijk optredende waterpeilen in de N.W.-afvoersituatie niet boven de gewenste N.W.-peilen uitkomen. Daarom start men de berekening met een benedenstrooms waterpeil en een zodanig verhang, dat de optredende waterstand bovenstrooms in een peilvak net niet boven de gewenste waterstand in de N.W.-situatie uitkomt (zie figuur 1.1.20). Met dit verhang worden de dwarsprofielen bij eenparige stroming met het debiet Q_n gediensioneerd. Blijkt bij deze berekening dat de maximum toelaatbare stroomsnelheid wordt overschreden, dan wordt het verhang verkleind.



Figuur 1.1.20. Lengteprofiel waterloop in poldergebied.

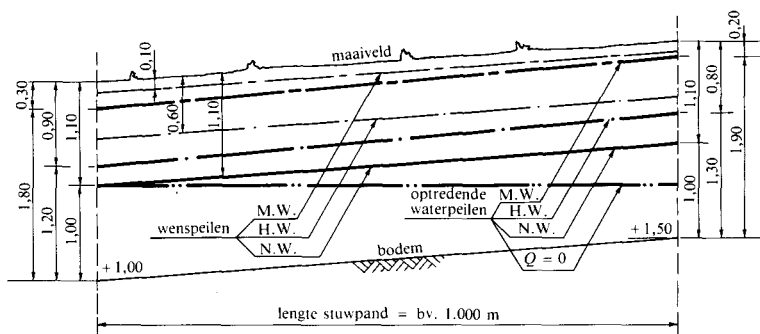
In het voorbeeld in figuur 1.1.20 ligt het wenspeil bij N.W. op 1,20 m beneden maaiveld en dat bij H.W. op 0,60 m. Bij de met Q_n gedimensioneerde waterlopen worden nu met behulp van een computerprogramma (zie par. V. 1.1.8. Berekeningstechnieken) bij niet-eenparige stroming, de waterstanden en stroomsnelheden berekend in de H.W.-afvoersituatie. Blijken deze lager te zijn dan de gestelde criteria bij H.W., dan is het ontwerp van de waterlopen goed. Is dit niet het geval, dan worden de waterlopen ontworpen met de bij H.W. geldende criteria.

De tot nu toe beschreven methode geeft in principe aan hoe het ontwerpen in poldergebieden wordt gedaan. In de praktijk echter is het wat ingewikkelder, daar het maaiveld nooit exact horizontaal ligt en hierdoor de overschrijding van wenspeilen discutabel wordt. Verder moet er bij de berekening van de waterstanden nog rekening worden gehouden met de cumulatie van opstuwings van kunstwerken (zie par. V. 1.1.6. Berekening afmetingen duikers, bruggen en onderleiders).

Om in de praktijk te voorkomen dat bij de N.W.-afvoersituatie de N.W.-wenspeilen worden overschreden, moet indien er geen afvoer is, een polderpeil in een peilvak worden gehandhaafd dat gelijk is aan het benedenstroomse peil in de N.W.-afvoersituatie (zie figuur 1.1.20). Bij droogtegevoelige gronden en in gebieden met een snelle maaiveld-daling kan het polderpeil hoger worden ingesteld, waarbij als bovengrens het N.W.-wenspeil kan worden aangehouden.

In hellende gebieden gaat het ontwerpen van waterlopen in principe op dezelfde wijze als in poldergebieden, alleen heeft men hier het voordeel van het verhang van het maaiveld. Behalve aan de criteria bij N.W. en H.W., moeten de waterlopen ook voldoen aan die bij M.W.-afvoer (Q_m).

In figuur 1.1.21 is een lengteprofiel van een waterloop in een hellend gebied getekend, met de daarbij voorkomende wens- en optredende peilen in de N.W.-, H.W.- en M.W.-situaties. Daar gebruik gemaakt wordt van de helling van het maaiveld, zullen de gewenste en optredende waterstanden in de N.W.-situatie meestal samenvallen. Het hierbij ontworpen dwarsprofiel wordt nu gebruikt om de waterstanden en stroomsnelheden in de H.W.- en M.W.-afvoersituatie te berekenen.



Figuur 1.1.21. Lengteprofiel waterloop in een hellend gebied.

In het voorbeeld van figuur 1.1.21 liggen de wenspeilen bij N.W., H.W. en M.W. respectievelijk op 1,10, 0,60 en 0,10 m beneden het maaiveld. Bij hogere optredende waterstanden in de H.W.- of M.W.-situaties dan de gewenste, zal het dwarsprofiel moeten worden vergroot.

Zijn de stroomsnelheden te hoog dan moeten er stuwen worden gebouwd of de waterloop moet van een bekleding worden voorzien.

In de praktijk moet ook rekening gehouden worden met ongelijke maaiveldligging en cumulatie van opstuwingen van kunstwerken. Het laatste punt speelt in hellende gebieden een minder belangrijke rol dan in poldergebieden.

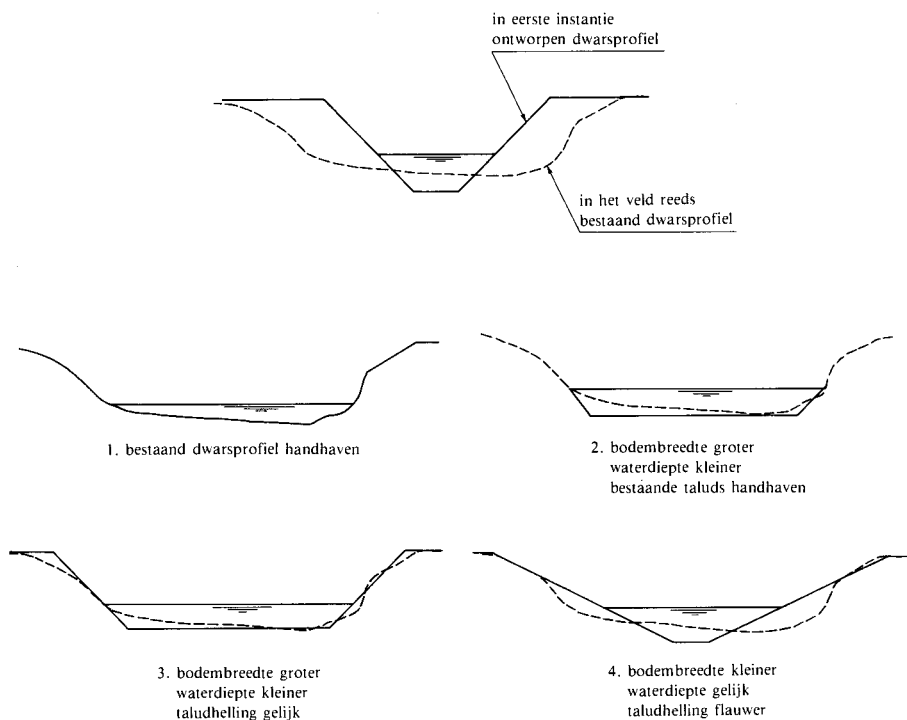
Bij het ontwerpen van waterlopen moet verder nog rekening gehouden worden met de volgende punten.

Aanvoer en conservering van water

De waterlopen moeten zodanig ontworpen zijn dat ook het aanvoer-debiet getransporteerd kan worden binnen de daarbij gestelde criteria voor waterstanden en stroomsnelheden. Voor berekening bijvoorbeeld moet een minimum waterdiepte van 0,60 m in de waterloop aanwezig zijn.

Aanpassen aan reeds bestaande dwarsprofielen

Heeft men voor een waterloop in eerste instantie een dwarsprofiel ontworpen dat kleiner is dan het in het veld reeds bestaande dwarsprofiel, dan moet het ontworpen profiel hierop worden aangepast. In figuur 1.1.22 staat een voorbeeld van een dergelijke situatie, waarbij een viertal mogelijkheden van aanpassing zijn weergegeven.



Figuur 1.1.22. *Aanpassen van een ontworpen dwarsprofiel aan een bestaand dwarsprofiel (4 mogelijkheden).*

Keuze van de k_M -waarde in relatie met natuurbouw of een afwijkende onderhoudsfrequentie

In het kader van natuurbouw wordt doorgaans gestreefd naar zo min mogelijk onderhoud aan de waterlopen. Hiertoe moeten dan de waterlopen ontworpen worden met een hierbij behorende k_M -waarde (zie par. V. 1.1.4. Wandruwheid k_M). Ook voor het vinden van het economisch optimum van aanleg en onderhoud van de waterlopen, kan het belangrijk zijn het ontwerp met verschillende k_M -waarden te berekenen.

Eisen aan waterdiepte, waterbreedte en stroomsnelheid in relatie met recreatie, natuurbouw en onderhoud

Waterlopen worden in het kader van de recreatie hoofdzakelijk gebruikt voor vissen en varen. Voor de sportvisserij moet er een minimale waterdiepte van circa 1 m en een waterbreedte van circa 3-4 m aanwezig zijn. Bij varen hangen de eisen nauw samen met het type vaartuig waarmee wordt gerekend.

Indien het onderhoud van waterlopen met veegboten wordt gedaan, dan moet de waterdiepte minimaal 0,50 m zijn en de bodembreedte 1,50 m.

Bij de natuurbouw komt het soms voor, dat voor de ontwikkeling van een bepaald organisme, altijd een minimale stroomsnelheid of waterdiepte aanwezig moet zijn of dat een bepaalde maximale stroomsnelheid of waterdiepte niet mag worden overschreden.

Eisen aan de vorm van het dwarsprofiel in relatie met onderhoud en natuurbouw

Voor het onderhoud van een waterloop worden vaak onderhoudspaden aangelegd. In het kader van natuurbouw wil men wel eens plasbermen in een waterloop aanleggen. Deze beide elementen (zie fig. 1.1.23) kunnen het dwarsprofiel zodanig wijzigen, dat er bij hoge afvoeren hydraulisch een geheel andere situatie in de waterloop kan ontstaan dan bij de oorspronkelijke vorm van het dwarsprofiel is berekend. Een herberekening is dan aan te bevelen.



Figuur 1.1.23. Vormveranderingen in het dwarsprofiel ten gevolge van natuurbouw en onderhoud.

1.1.5. Bijzondere aandachtspunten ontwerp waterlopen

Minimum waterloopafmeting

Bij strikte toepassing van de formules van Manning kunnen bij kleine afvoeren en/of een groot verhang, de afmetingen van de berekende waterloop zodanig klein worden, dat praktisch onderhoud en bedrijfszekerheid in de knel komen. Daarom wordt een waterloop niet kleiner ontworpen dan met zogenaamde minimum afmetingen. Veel toegepaste minimum afmetingen zijn:

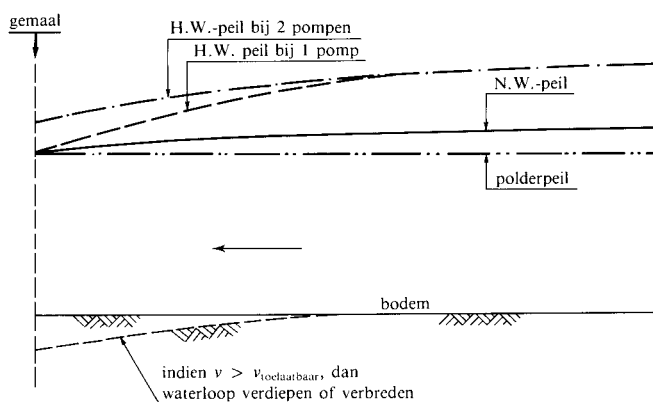
- taludhelling 1:1;
- bodembreedte van 0,50 m;
- een bodemhoogte die ten minste 0,25 m beneden de droogleggingseis bij N.W. ligt.

Uitmonding van een kleine waterloop in een grote

Bij afvoeren anders dan die waarop het systeem is berekend, kunnen bij aansluiting van een kleine waterloop op een grotere, stroomversnellingen (valkrommen) dan wel stroomvertragingen (stuwkrommen) optreden. Worden de optredende snelheden te groot, dan kan bijvoorbeeld een stuw c.q. bodemval gebouwd worden dan wel een duiker met de functie van bodemval.

Ontwerp hoofdwaterloop voor een gemaal met één pomp

De gemaalcapaciteit is meestal gelijk aan de H.W.-afvoer (Q_h) + 10% van Q_h (zie hoofdstuk V.1.2. Gemalen). Daardoor is de ingezette gemaalcapaciteit doorgaans groter dan het af te voeren debiet in de waterloop voor het gemaal. Vooral bij een gemaal met één pomp komt dit veel voor en kan dit problemen geven in verband met de optredende stroomsnelheid in de waterlopen. In dit geval wordt er namelijk bij het gemaal op N.W.-peil gemalen, terwijl de H.W.-afvoer (Q_h) door de waterloop wordt getrokken. Wordt hierbij de maximum toelaatbare snelheid overschreden, dan moet de waterloop voor het gemaal zodanig worden verdiept en/of verbreed, dat de maximum toelaatbare snelheid niet wordt bereikt (zie figuur 1.1.24).



Figuur 1.1.24. Lengteprofiel van een hoofdwaterloop voor een gemaal.

Indien een gemaal bijvoorbeeld twee pompen heeft, hoeft dit probleem niet op te treden. Men laat dan één pomp het gebied op N.W.-niveau bemalen en de tweede pomp wordt pas ingeschakeld als het inslagpunt voor de H.W.-afvoer is bereikt.

Riooloverstorten en afvoeren van verharde oppervlakten

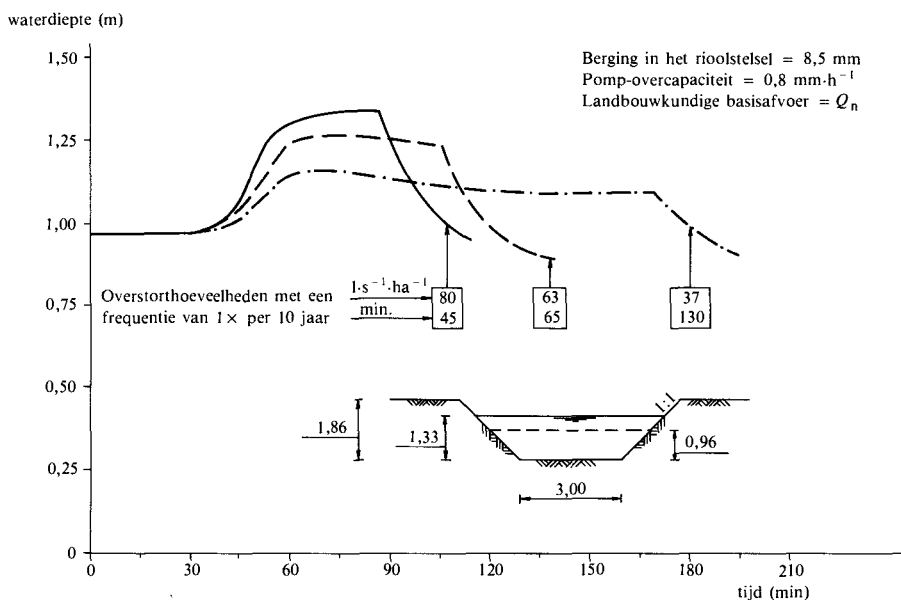
Het betreft hier in beide gevallen rechtstreekse afvoeren zonder de bufferende en vertragende werking van de ondergrond. Door dit rechtstreekse karakter zijn de afvoeren per tijdsseenheid aanzienlijk groter dan in de situatie dat de neerslag op onverharde gebieden valt terwijl de afvoertijd kort is (zie figuur 1.1.4). Hierdoor is geen sprake meer van een stationaire afvoer, waarvan uitgegaan wordt bij de toepassing van de formule van Manning, maar van een niet-stationaire afvoer. Deze berekeningen zijn zeer tijdrovend en kunnen daarom beter met behulp van computerprogramma's worden uitgevoerd. Hiervoor wordt verwezen naar par. V. 1.1.8. Berekeningstechnieken.

De overstortdebieten met hun frequenties volgen uit de rioleringsberekening en zijn afhankelijk van de bergingscapaciteit van het rioolstelsel en de afvoercapaciteit van het

rioolgemaal. Vanwege de vuilbelasting op het oppervlaktewater, wordt het aantal overstorten doorgaans beperkt tot 5 à 8 maal per jaar.

Om te voorkomen dat de overstortdebieten tot inundaties leiden, kunnen plaatselijk ver-
grote waterlopen of retentiebekkens worden toegepast.

In figuur 1.1.25 worden de resultaten gegeven van een berekening van het waterstands-
verloop in een waterloop ten gevolge van een riool-overstort bij verschillende regenbui-
en met een frequentie van $1 \times$ per 10 jaar.

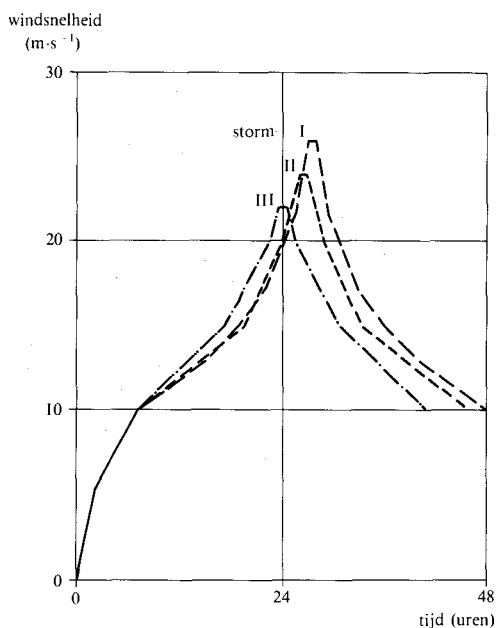


Figuur 1.1.25. Resultaten van een berekening van de fluctuatie in de waterstanden in een waterloop ten
gevolge van rioolwateroverstorten.

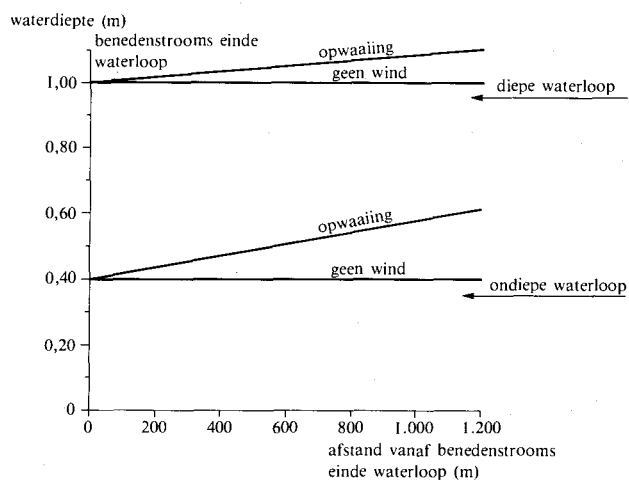
Windinvloed

Indien in een waterbeheersingssysteem de wind een belangrijke invloed kan uitoefenen op de waterstanden, verdient het aanbeveling om dit effect in de berekening van de waterlopen mee te nemen. Om deze berekeningen te kunnen uitvoeren moet men weten welke windsnelheden maatgevend gesteld kunnen worden. In figuur 1.1.26 zijn voor Schiphol maatgevende stormen met de daarbij behorende windsnelheden weergegeven.

De invloed van de wind is in diepe waterlopen geringer dan in ondiepe, doordat zich in diepe waterlopen gemakkelijker een retourstroom over de bodem kan instellen. In figuur 1.1.27 is dit in principe weergegeven door middel van een diepe en ondiepe waterloop met een constant benedenstrooms peil.



Figuur 1.1.26. Windsnelheidsverloop bij Schiphol tijdens een gemiddelde storm met een overschrijdingskans van eens per 25 jaar (I), eens per 10 jaar (II) en eens per 5 jaar (III) (willekeurige windrichting).



Figuur 1.1.27. Windinvloed in diepe en ondiepe waterlopen.

Door de wind in een modelberekening (met behulp van het computerprogramma HY-DRA; zie par. V. 1.1.8) vanaf het benedenstroomse eind te laten waaien krijgt men een indruk van het verschil in opwaaiing in de diepe en ondiepe waterloop. Berekeningen met windinvloed worden meestal met behulp van computerprogramma's uitgevoerd (zie par. V. 1.1.8 Berekeningstechnieken).

Maatregelen ten behoeve van de waterkwaliteit

De ontwerper van een waterbeheersingssysteem kan geconfronteerd worden met de vraag hoe de waterkwaliteit in een gebied kan worden verbeterd. Een veel gebruikte methode daarvoor is het verdunnen c.q. doorspoelen van water. Daartoe dient bij het plan rekening te worden gehouden met een juiste keuze van inlaten, lozingspunten, tracering en dimensies van waterlopen.

Indien in een gebied één of meerdere vervuilingbronnen voorkomen, kan men het plan zo maken, dat het vervuilde water langs de kortste weg naar het lozingspunt wordt gevoerd. In netwerken bijvoorbeeld kan hiervoor met behulp van computerprogramma's een goede berekening worden uitgevoerd (zie par. V. 1.1.8 Berekeningstechnieken).

Bij de aanvoer van water ten behoeve van de landbouw is het mogelijk dat dit kwalitatief niet geschikt is om door een natuurgebied te voeren. Hiervoor moeten dan omleidingen worden ontworpen. Soms kan door een bepaalde manier van water aanvoeren ten behoeve van de landbouw, de wegzijging van water vanuit natuurgebieden worden tegengegaan of beperkt. Hiertoe moet dan een goede keuze worden gemaakt van de plaatsen van inlaten en stuwen.

Bij wateraanvoer ten behoeve van natuurgebieden kan het noodzakelijk zijn in verband met de waterkwaliteit van het aangevoerde water, de verblijftijd tijdens de aanvoer te verlengen. Dit kan door middel van langere aanvoerroutes of langere verblijftijd in een reservoir (meertje).

Indien men in een gebied verontreinigde baggerspecie heeft, die men niet eenvoudig kan verwijderen, kan het soms zinvol zijn om bredere ondiepe waterlopen te ontwerpen. Heeft men verontreinigde baggerspecie die wel eenvoudig verwijderd kan worden, dan verdient het aanbeveling dit grondig te doen en moet men juist diepe smallere waterlopen ontwerpen.

Beheer van een waterlopenstelsel

Behalve de reeds berekende situaties bij N.W., H.W. of M.W. kunnen er ten behoeve van het beheer ook andere afvoersituaties van belang zijn om door te rekenen. Bijvoorbeeld een H.W.-afvoersituatie, terwijl de stuwen nog ingesteld zijn op de N.W.-afvoer. Ook kan men in verband met kostenbesparing (gebruik van elektriciteit tijdens "goedkope" nachtelijke uren), optimale in- en uitslagpeilen van een gemaal berekenen voor de situatie overdag en 's nachts. Verder is het mogelijk om de bedieningsprogramma's voor automatische stuwen te optimaliseren en dergelijke (zie par. V. 1.1.7. Automatische stuwen).

1.1.6. Berekening afmetingen duikers, bruggen en onderleiders

Berekeningsmethode duikers, bruggen, onderleiders en hevels

Voor de waterstroming in een waterloop is doorgaans een beperkt verval beschikbaar. Dit verval moet door de ontwerper worden verdeeld over de waterloop en de daarin voorkomende kunstwerken. In het algemeen zal bij de keuze van kleine, goedkope kunstwerken een ruime, dure waterloop moeten worden ontworpen en omgekeerd. Met name bij grotere debieten loont het de moeite om enkele vergelijkende berekeningen te maken teneinde tot een financieel optimum te komen (Gelok, 1980).

De berekeningen van duikers, bruggen, onderleiders en hevels vindt plaats met de formule (Gelok, 1969):

$$Q = \mu \cdot A \sqrt{2 \cdot g \cdot z} \quad (1.1.13)$$

of

$$z = \frac{1}{\mu^2 \cdot 2g} \cdot (Q^2 \cdot A^{-2}) \quad (1.1.14)$$

waarin:

Q	= debiet	$(\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$
μ	= weerstandscoefficiënt	$(-)$
A	= natte oppervlak	(m^2)
g	= versnelling van de zwaartekracht	$(\text{m} \cdot \text{s}^{-2})$
z	= opstuwing	(m)

De gang van zaken bij het berekenen van een duiker in een waterbeheersingsplan is als volgt:

Vaststellen van berekeningsnormen

De opstuwing voor een duiker zal bovenstrooms in de waterloop merkbaar zijn, totdat de evenwichtsdiepte in de waterloop weer bereikt is. Deze afstand L wordt zeer globaal benaderd door de formule (zie figuur 1.1.28):

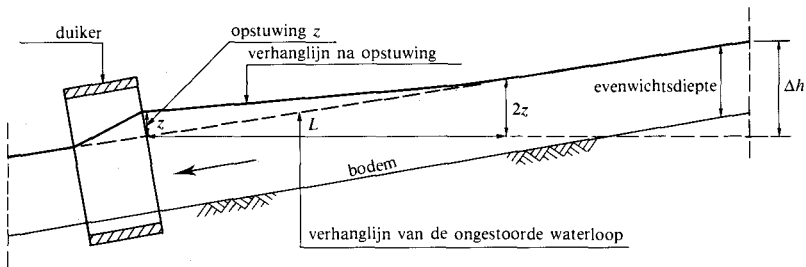
$$L = \frac{2 \cdot z}{S} \quad (1.1.15)$$

Bij een eerste ontwerp wordt voor het bepalen van de toelaatbare opstuwing vaak gebruik gemaakt van de hieruit afgeleide vuistformule:

$$z_{\text{toelaatbaar}} = \frac{\Delta H}{2 \cdot n} \quad (1.1.16)$$

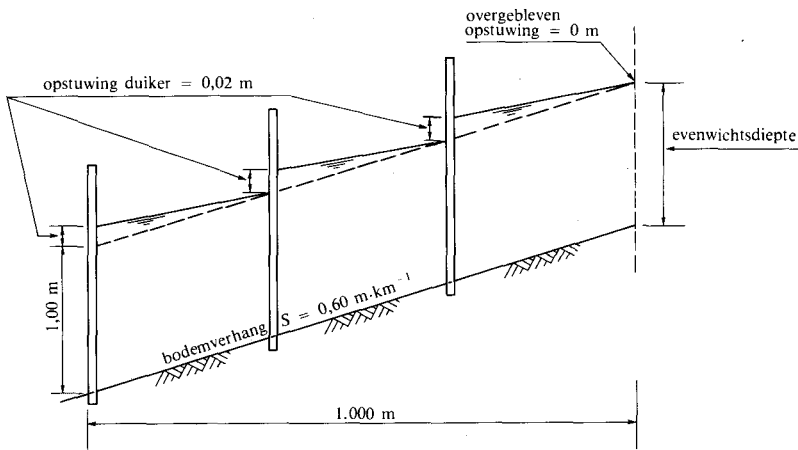
waarin:

ΔH	= verval in de waterloop
n	= aantal kunstwerken in de waterloop



Figuur 1.1.28. Lengte van de invloed van de opstuwing (L) in relatie tot z en S .

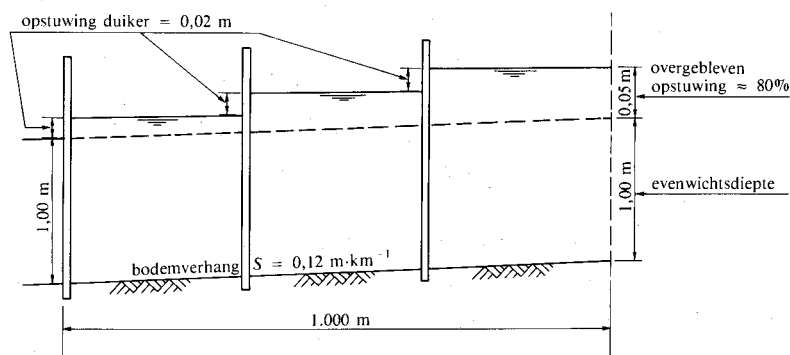
Het principe van deze vuistformule is dus gebaseerd op de aanname dat bij de toepassing van kunstwerken in een waterloop, de hierdoor veroorzaakte verhoging van de waterstand aan het bovenstroomse einde van de waterloop geheel te niet is gedaan. In hellende gebieden gaat deze veronderstelling in het algemeen wel op. Door het steile verhang vindt er geen of weinig cumulatie van opstuwingen plaats. In figuur 1.1.29 is dit geïllustreerd aan de hand van een waterloop met een verhang van $0,60 \text{ m} \cdot \text{km}^{-1}$ met drie kunstwerken, die elk een opstuwing van $0,02 \text{ m}$ veroorzaken en totaal dus $0,06 \text{ m}$. Uit een verhanglijnberekening blijkt dat aan het bovenstroomse einde van de waterloop hiervan niets meer over is.



Figuur 1.1.29. Lengteprofiel van een waterloop in een hellend gebied, met verhoogde waterstanden in verband met de opstuwing van drie kunstwerken.

In vlakke gebieden gaat de aanname waarop de vuistformule is gebaseerd echter niet geheel op. Door het geringe verhang in de waterlopen krijgt men hier wel een verhoging van de bovenstroomse waterstand door de cumulatie van de opstuwingen bij de kunstwerken.

In figuur 1.1.30 wordt dit geïllustreerd aan de hand van dezelfde waterloop als in figuur 1.1.29, alleen met dit verschil dat het verhang nu $0,12 \text{ m} \cdot \text{km}^{-1}$ bedraagt. Uit de verhanglijnberekening blijkt nu, dat aan het bovenstroomse einde van de waterloop van de $0,06 \text{ m}$ opstuwing nog $0,05 \text{ m}$ of te wel circa 80% over is.



Figuur 1.1.30. Lengteprofiel van een waterloop in een vlak gebied, met verhoogde waterstanden in verband met de cumulatie van de opstuwing van drie kunstwerken.

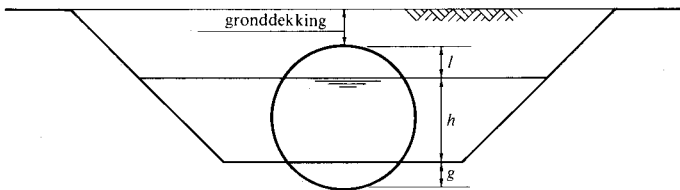
Een ander criterium voor de berekening van de duikers is de toelaatbare uitstroomsnelheid. In principe is deze ongelimiteerd, doch een hoge uitstroomsnelheid vereist wel voorzieningen om erosie in de waterloop benedenstrooms te voorkomen. Indien geen voorzieningen worden getroffen, wordt als vuistregel doorgaans gehanteerd dat de uitstroomsnelheid niet groter mag zijn dan circa 1,5 maal de maximaal toelaatbare stroomsnelheid in de betreffende waterloop. De eis voor de uitstroomsnelheid is met behulp van formule 1.1.14 gemakkelijk in een toelaatbare opstuwing uit te drukken:

$$z_{\text{toel.}v_{\text{max}}} = \frac{v_{\text{max}}^2}{\mu^2 \cdot 2g} \quad (1.1.17)$$

Heeft men met behulp van de formules 1.1.16 en 1.1.17 kunstwerken in een waterloop ontworpen, dan moet met behulp van een verhanglijnberekening gecontroleerd worden in hoeverre er cumulatie van de opstuwingen bij de kunstwerken plaatsvindt en of de eventuele waterstandverhogingen acceptabel zijn. Dit gebeurt meestal met behulp van een computerprogramma (zie par. V. 1.1.8. Berekeningstechnieken). Voor een optimaal ontwerp moet dus worden gestreefd naar een zodanige verdeling van het beschikbare verhang over de waterloop en de kunstwerken, dat de som van de kosten voor aanleg en onderhoud zo laag mogelijk is.

Naast deze hydraulische aspecten moet nog rekening worden gehouden met:

- *Afvoer van drijvend vuil.* Dit resulteert meestal in een eis voor een bepaalde afstand (l) tussen de waterspiegel en de binnen-onderkant van de duiker, de zogenaamde "hoeveelheid lucht" (bijvoorbeeld $l = 0,10$ m; figuur 1.1.31.)



Figuur 1.1.31. Verdeling hoeveelheid lucht in grond in een duiker.

Meestal is de N.W.-afvoersituatie maatgevend voor de bepaling van de "hoeveelheid lucht". Bij een afvoersituatie met hogere waterstanden, kan dan geen of minder drijvend vuil worden afgevoerd. Dit is echter in de praktijk meestal niet bezwaarlijk, daar het grootste gedeelte van het jaar de waterstanden op N.W.-niveau of lager liggen, waardoor het drijvend vuil voldoende gelegenheid krijgt om door de duikers weg te stromen. Bij het instellen van een zomerpeil in een polder, zal dit maatgevend zijn voor de hoeveelheid lucht.

Om vervuiling in een onderleider te voorkomen, zal bij het ontwerpen gestreefd worden naar een minimale stroomsnelheid van $0,60 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ in de onderleider bij de N.W.-afvoersituatie (Q_n), indien dit qua toelaatbare opstuwing mogelijk is. Hierbij moet er rekening mee worden gehouden dat bij hogere afvoeren en dus ook hogere stroomsnelheden, er benedenstrooms van de onderleider wellicht een bodembescherming nodig is;

- *Passage van veegboten,* om onderhoud aan de waterlopen te kunnen uitvoeren. Hiervoor is de eis dat bij de maatgevende situatie (bijvoorbeeld zomerpeil) voldoende ruimte boven de waterspiegel aanwezig is om de duiker met een veegboot te kunnen passeren (bijvoorbeeld $1,50 \times 0,80$ m);
- *Gewenste gronddekking boven de duiker.* Indien vanwege spreiding van de verkeersbelasting op de duiker een zekere minimale gronddekking (vaak 0,50 m) aanwezig moet zijn, dan kan dit bij een laaggelegen maaiveld van invloed zijn op de maximaal toelaatbare hoogte van de duiker (keuze bijvoorbeeld rechthoekige of muilvormige in plaats van ronde duiker) of op de hoogteligging van de duiker (bijvoorbeeld een ronde duiker wordt g cm in de grond gelegd);
- *Extra diepte van de bodem van de duiker* in verband met in de toekomst te verwachten maaiveld daling c.q. polderpeilverlaging.

Bruikbaarheid van bestaande duikers

Indien er reeds een duiker ligt waarvan de kwaliteit nog goed is, berekenen of de opstuwing en de uitstroomsnelheid van deze duiker eventueel acceptabel zijn.

Is de opstuwing van de duiker te groot, dan kan men de consequenties afwegen van de extra peiloverschrijding tegen de kosten van het leggen van een nieuwe duiker. Ook kan worden berekend of het hydraulisch en economisch zinvol is om instroom- en uitstroomvoorzieningen aan te brengen ter verlaging van de opstuwing. Voor een eventuele te hoge uitstroomsnelheid van de duiker, kan worden overwogen om een bodembescherming aan de uitstroomzijde van de duiker aan te brengen. Indien de mogelijke voorzieningen niet doelmatig, of ontoereikend zijn, zal een nieuwe duiker moeten worden ontworpen.

Bepalen van de afmetingen van een nieuwe duiker

Eerst wordt de minimale hoogte (mh) van de duiker bepaald, door de waterstand (h) in de waterloop te vermeerderen met het aantal cm lucht (l) nodig voor vuilafvoer of de hoogte nodig voor de veegboot (zie figuur 1.1.31). Uit de standaard-duikers van beton, asbest-cement of gegolfd plaatstaal word de goedkoopste duiker gekozen met een hoogte H gelijk aan mh . Indien de hoogte mh in de standaardmaten niet bestaat, wordt de eerstvolgende in hoogte genomen. Blijkt dat er een minimale breedte ($mb = \text{circa } 1,50 \text{ m}$) nodig is voor een veegboot, dan moet de breedte van de gekozen duiker op de waterlijn en circa 0,80 m daarboven gelijk aan of groter dan mb zijn. Van deze gekozen duiker wordt mede aan de hand van de gewenste gronddekking, eventuele extra diepte vanwege te verwachten maaiveldval en de vorm van de duiker, de juiste hoogteligging bepaald.

In de praktijk vaak toegepaste vuistregels voor de bepaling van de maat g voor de "hoeveelheid grond" zijn voor:

- . ronde duikers 10% van de hoogte H ;
- . rechthoekige duikers 0,1 m.

De hoogte H van de ontworpen duiker kan zoveel groter zijn dan de waterdiepte h , dat het extra hoogteverschil verdeeld moet worden tussen de hoeveelheid lucht en grond. Indien dit bij ronde duikers het geval is, krijgt men de grootste natte doorsnede door het verschil tussen $H-h$ gelijkelijk over de hoeveelheid lucht en grond te verdelen. Als het vanwege gronddekking en dergelijke mogelijk is, wordt dit in de praktijk ook gedaan. Ook bij rechthoekige duikers vindt gelijkelijke verdeling plaats van het extra hoogteverschil.

Na de bepaling van de juiste hoogteligging van de duiker, worden de opstuwing en de uitstroomsnelheid berekend. Zijn deze kleiner dan de toelaatbare, dan voldoet de duiker. Is dit niet het geval, dan wordt een grotere duiker gekozen en de berekening herhaald, net zo lang totdat de duiker gevonden is die aan de gestelde eisen voldoet.

Voor de berekening van de opstuwing met behulp van de formule 1.1.14, moeten verschillende parameters worden ingevuld. In het navolgende zullen deze nader worden toegelicht.

Debiet Q

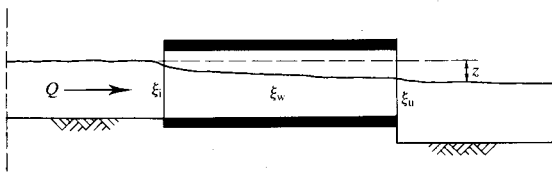
De waterbeheersingsplannen in vlakke gebieden worden gedimensioneerd met de afvoeren Q_n (N.W.) en Q_h (H.W.). In de praktijk van de ontwerpprocedure worden de waterlopen eerst ontworpen op Q_n . De daarbij berekende profielen zijn doorgaans ook voldoende voor de afvoer van Q_h . Ook de duikers worden ontworpen met de criteria die bij de afvoeren Q_n en Q_h gelden. Voor kunstwerken in kleine waterlopen is veelal Q_n maatgevend, terwijl dit in grote waterlopen Q_h is. Dit wordt veroorzaakt door de eis van een hoeveelheid lucht bij N.W.-afvoer, terwijl deze eis niet bij H.W.-afvoer wordt gesteld.

In hellende gebieden worden de duikers nog met de afvoer Q_m (M.W.) doorgerekend om te beoordelen of er geen inundaties en ontoelaatbare uitstroomsnelheden optreden. De toelaatbare uitstroomsnelheden bij een afvoer Q_m worden vaak iets hoger genomen, vanwege de zeer lage frequentie van optreden en de hogere waterstanden bij deze afvoersituatie.

Weerstandscoefficiënt μ

Voor de weerstandscoefficiënt μ geldt de formule (zie figuur 1.1.32):

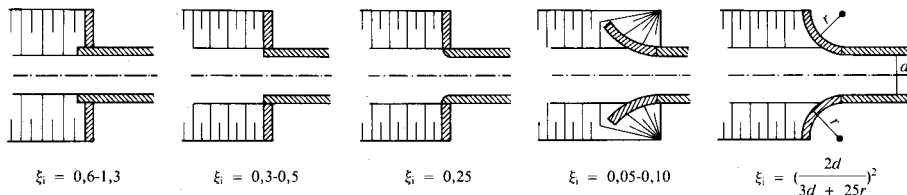
$$\mu = \frac{1}{\sqrt{\xi_i + \xi_w + \xi_u + n \cdot \xi_b}} \quad (1.1.18)$$



Figuur 1.1.32. Langsdoorsnede waterloop met duiker.

Intreeweerstand ξ_i

In figuur 1.1.33 zijn vormen van instroomopeningen weergegeven met de daarbij behorende ξ_i -waarden. Gewoonlijk wordt voor ξ_i bij ronde en muilvormige duikers de waarde 0,6 aangehouden en bij rechthoekige duikers 0,5.



Figuur 1.1.33. Vormen van instroomopeningen met bijbehorende ξ_i -waarden.

Wrijvingsverlies ξ_w

De coëfficiënt voor het wrijvingsverlies (ξ_w) wordt berekend met de formule:

$$\xi_w = \frac{2 \cdot g \cdot L}{C^2 \cdot R}$$

(1.1.19)

waarin:

$$\begin{aligned} L &= \text{lengte duiker} \\ C &= \text{coëfficiënt van De Chézy} = k_M \cdot R^{1/6} \end{aligned}$$

(1.1.20)

Enkele waarden voor de ruwheidsfactor van Manning (k_M) voor betonnen duikers zijn in tabel 1.1.10 gegeven (Ven te Chow, 1959). Veelal wordt in de ontwerppraktijk een k_M -waarde van $75 \text{ m}^{1/3} \cdot \text{s}^{-1}$ aangehouden.

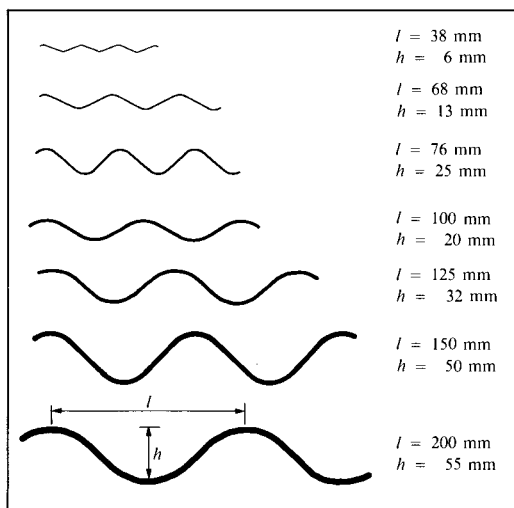
Tabel 1.1.10. k_M -waarden voor betonnen duikers.

k_M -waarden in $\text{m}^{1/3} \cdot \text{s}^{-1}$ voor beton	Minimum	Normaal	Maximum
1. duiker, recht en schoon	75	90	100
2. duiker met bochten, verbindingen en enige verontreiniging	70	75	90
3. afgewerkt	70	85	90
4. rioolbuis met mangaten, inlaten e.d. recht	55	65	75
5. niet afgewerkt, bij stalen bekisting	70	75	85
6. niet afgewerkt, bij gladde houten bekisting	60	70	85
7. niet afgewerkt, bij ruwe houten bekisting	50	60	65

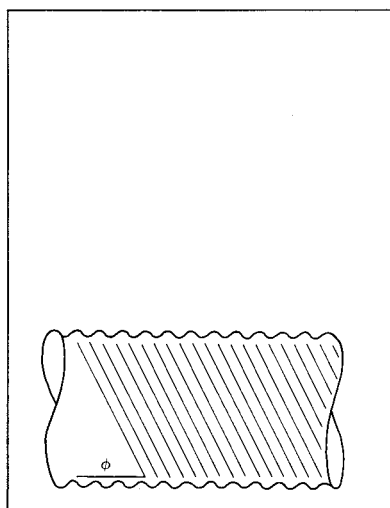
Bij duikers van gegolfd plaatstaal maakt men onderscheid tussen meerplatige geboute en spiraalgefelste duikers. De k_M -waarde bij meerplatige duikers hangt af van de golfafmetingen (zie figuur 1.1.34) van de platen (zie tabel 1.1.11), terwijl bij spiraalgefelste duikers (zie tabel 1.1.12) ook de spoedhoek (zie figuur 1.1.35) een rol speelt (Gelok, 1975).

Tabel 1.1.11. k_M -waarden voor meerplatige geboute gegolfd plaatstalen duikers.

Kleine meerplatige duikers		Grote meerplatige duikers	
golfafmetingen in mm $l \times h$	toe te passen k_M -waarden in $\text{m}^{1/3} \cdot \text{s}^{-1}$	golfafmetingen in mm $l \times h$	toe te passen k_M -waarden in $\text{m}^{1/3} \cdot \text{s}^{-1}$
67 × 13	40	150 × 50	30
100 × 20	38	152 × 51	30
125 × 32	35	200 × 55	30



Figuur 1.1.34.
Afmetingen van de meest toegepaste golven bij gegolfd plaatstalen duikers.



Figuur 1.1.35
Spoeidhoek ϕ bij spiraalgefelste gegolfd plaatstalen duikers.

Tabel 1.1.12. k_M -waarden voor spiraalgefelste gegolfd plaatstalen duikers.

Spiraalgefelste duikers

diameter in mm	golfafmetingen in mm $l \times h$	toe te passen k_M -waarden in $\text{m}^{1/3} \cdot \text{s}^{-1}$
150	38×6	90
200	38×6	75
300	68×13	85
400	68×13	80
500	68×13	70
600	68×13	60
700	68×13	55
800	68×13	55
900	76×25	50
1.000	76×25	45
1.100	76×25	45
1.200	76×25	45
1.250	76×25	45
1.300	76×25	45
1.400	76×25	40
1.500	76×25	40
1.750	76×25	40
2.000	76×25	35
2.250	76×25	35
2.500	76×25	35

Voor de k_M -waarde van asbest-cement wordt meestal $90\text{ m}^{1/3}\cdot\text{s}^{-1}$ en voor die van p.v.c. $100\text{ m}^{1/3}\cdot\text{s}^{-1}$ aangehouden.

Uittreeverlies ξ_u

De coëfficiënt voor het uittreeverlies (ξ_u) wordt weergegeven door de formule:

$$\xi_u = (1 - a \cdot \alpha)^2 \cdot k \tag{1.1.21}$$

waarin:

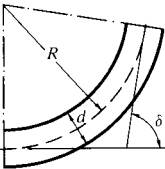
- a = het aantal naast elkaar gelegen duikers
- α = natte oppervlakte duikerprofiel gedeeld door natte oppervlakte benedenstroomse waterloop
- k = coëfficiënt afhankelijk van de vorm van de uitstroomopening van de duiker

Bij $k = 1$ gaat de totale resterende kinetische energie verloren en bij $k = 0$ niet. Indien geen speciale voorzieningen voor het stroomlijnen van de uitstroomopening wordt genomen, wordt bij de berekening van waterlopenplannen meestal $k = 1$ aangenomen.

Bocht- en knikverliezen ξ_b en ξ_k

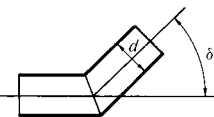
Bij de berekening van onderleiders en hevels moet rekening gehouden worden met bochtverliezen en/of knikverliezen. Voor deze verliezen wordt verwezen naar de tabellen 1.1.13 en 1.1.14 (Huisman, 1969).

Tabel 1.1.13. Bochtverliezen ξ_b



	Ruw					Glad
$\delta =$	15°	22,5°	45°	60°	90°	90°
$R = d$	0,03	0,045	0,14	0,19	0,21	0,51
$= 2d$	0,03	0,045	0,09	0,12	0,14	0,30
$= 4d$	0,03	0,045	0,08	0,10	0,11	0,23
$\xi_b = 6d$	0,03	0,045	0,075	0,09	0,11	0,20
$= 10d$	0,03	0,045	0,07	0,07	0,09	0,18

Tabel 1.1.14. Nikverliezen ξ_k

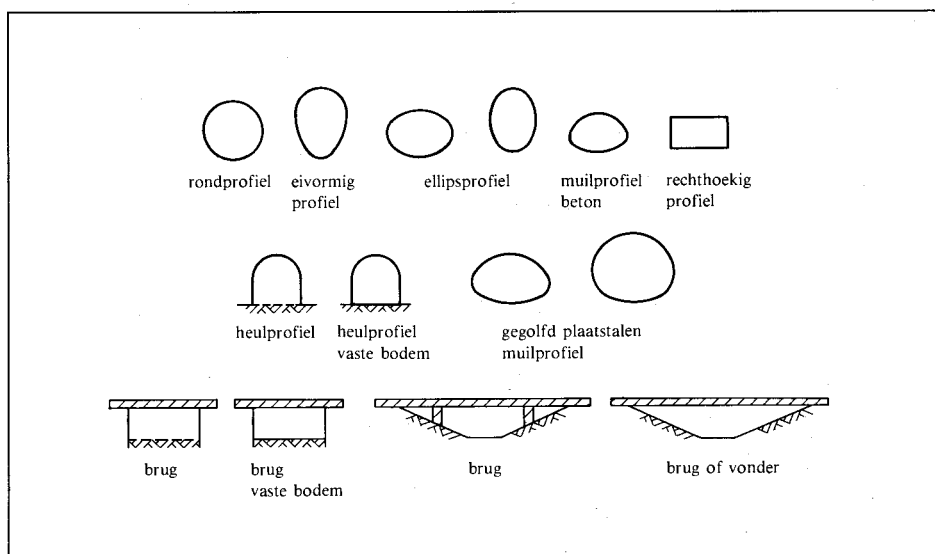


$\delta =$	5°	10°	15°	22,5°	30°	45°	60°	90°
glad $\xi_k =$	0,02	0,03	0,04	0,07	0,11	0,24	0,47	1,13
ruw $\xi_k =$	0,02	0,04	0,06	0,11	0,17	0,32	0,68	1,27

In de praktijk varieert de waarde μ voor duikers korter dan 20 m meestal tussen 0,8 en 1,1.

Natte oppervlakte A

Voor de verschillende vormen van duikers en bruggen die in de praktijk voorkomen, wordt verwezen naar figuur 1.1.36.



Figuur 1.1.36. Verschillende vormen van duikers en bruggen die in waterbeheersingsplannen voorkomen.

Voor het berekenen van de natte oppervlakte A en de hydraulische straal R van de verschillende duikertypen wordt verwezen naar de bestaande literatuur (Gelok, 1973).

Duikers zijn in het algemeen geprefabriceerd. Voor de handelsmaten wordt verwezen naar de verschillende fabrikanten van duikers van beton, gegotfd-plaatstaal, asbest-cement en kunststoffen.

1.1.7. Berekening afmetingen stuwen

Indeling van stuwen

Stuwen die in waterbeheersingsplannen voorkomen, kunnen op de volgende wijzen worden ingedeeld:

Naar functie

a. Regelstuwen, onder te verdelen in:

- . technische stuwen : worden gebouwd om te hoge stroomsnelheden in de waterlopen te verminderen.
- . landbouwkundige stuwen : dienen om voor droge perioden water te conserveren ten behoeve van landbouw of natuur
- . verdeel-stuwen : dienen om water uit één waterloop over twee of meer waterlopen te verdelen.
- . debiet-regelstuwen : dienen om niet meer dan een bepaald debiet af te voeren.

b. Meetstuwen:

Deze worden gebruikt om debieten te meten.

c. Combinatie van regel- en meetstuwen.

d. Vistrapstuwen:

Vis heeft hierdoor de mogelijkheid om tegen de stroom in een bepaald peilverschil te overbruggen.

e. Compartimenteringsstuwen:

Voor het gebruik in noodgevallen. Bijvoorbeeld om bij plotselinge kadebreuk een waterloop geheel af te sluiten, zodat inundatie van een bepaald gebied wordt voorkomen.

Naar regelbaarheid:

a. Vaste stuwen met:

- . rechte kruin
- . overige kruinvormen

b. Regelbare stuwen met:

- . schotbalken
- . kleppen
- . verticale schuiven
- . segmentschuiven

c. Geautomatiseerde regelbare stuwen:

- . elektrisch
- . hydraulisch
- . mechanisch

Naar de vorm van de kruin in de lengterichting (stroomrichting):

a. Lange overlaten:

De lengte van de kruin is minstens $1,75 \times$ de maximale overstorthoogte, terwijl de hoogte van de kruin ten opzichte van de bodem een minimumwaarde heeft.

b. Scherpe overlaten:

De lengte van de kruin is slechts 1 à 2 mm.

c. Korte overlaten:

Deze overlaten liggen in het overgangsgebied tussen de lange en de scherpe overlaten.

d. Onderwateropeningen:

De doorstroomopening bevindt zich op enige afstand beneden de bovenstroomse waterspiegel.

e. Flumes of meetgoten:

Deze meetgoten zijn een plaatselijke versmalling in de waterloop, waarbij de kruin op dezelfde hoogte of een klein beetje hoger ligt dan de bodem van de waterloop. Meetgoten gedragen zich als lange overlaten.

Naar de vorm van de dwarsdoorsnede van de kruin:

- . rechthoekig
- . driehoekig
- . trapeziumvormig
- . paraboolvormig
- . cirkelvormig
- . kruinen met speciale vorm

Bijzondere stuwen:

- . cascdestuw (*Tap en Mols*, 1974)
- . hevelstuw (*Dijkstra*, 1978)
- . stuw met contragewicht
- . inlaat-, aflaatstuw
- . membraam-stuw (*Hafner*, 1979).

Voor een uitgebreidere beschrijving van deze stuwtypen wordt verwezen naar hoofdstuk V.1.3. Stuwen in waterbeheersingsplannen. De hydraulische berekening van een aantal van deze stuwtypen zal nu in de volgende paragrafen worden behandeld. Verder wordt nog opgemerkt, dat in Nederland het grootste deel (circa 95%) van de stuwen gebruikt wordt als regelkunstwerk en het overige deel (circa 5%) als meetstuwen.

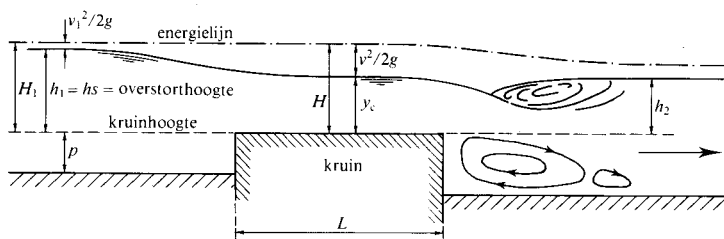
Bij de toepassing in waterbeheersingsplannen hebben praktisch alle regelstuwen een rechthoekige kruinvorm. Daarom worden nu eerst de basisformules voor de rechthoekige overlaten met lange, korte en scherpe kruinen genoemd.

Afvoerformules voor lange, scherpe en korte rechthoekige overlaten

Iedere stuw vormt een plaatselijke vernauwing in het doorstromingsprofiel van een waterloop. Uit het stroombeeld bovenstrooms van de stuwkruin, blijkt dat er altijd sprake is van een verticale contractie en meestal ook van een zijdelingse. In de stroomrichting is er ook een afbuiging van de bovenste stroomlijn, waardoor de waterstand recht boven de kruin een lagere waarde heeft dan die op enige afstand bovenstrooms van de kruin.

Er is voor alle stuwen een verband tussen de afvoer Q en de overstorthoogte hs . Met hs wordt niet bedoeld de waterhoogte boven de kruin, maar de waterhoogte ten opzichte van de kruin op zodanige afstand bovenstrooms, dat de afzuigingskromme geen invloed meer heeft. De Q - hs relatie wordt tot uitdrukking gebracht in een afvoerformule.

Bij lange overlaten lopen de stroomlijnen over een bepaalde lengte evenwijdig aan elkaar en aan de kruin van de overlaat. Het water boven de kruin bevindt zich in de grenstoestand en er treedt schietend water op. De lengte L van de kruin in de stroomrichting zal daartoe een bepaalde minimumwaarde moeten hebben, die volgt uit de voor elk type opgegeven verhouding $H:L$ (zie figuur 1.1.37). De afstand p tussen de kruinhoogte en de bodem van de waterloop bovenstrooms, moet een zekere minimumwaarde hebben.



Figuur 1.1.37. Lange overlaat.

De afvoerformule voor de lange rechthoekige overlaat luidt:

$$Q = (2/3)^{3/2} \cdot g^{1/2} \cdot C_v \cdot C_d \cdot b \cdot hs^{3/2} \quad (1.1.22)$$

waarin:

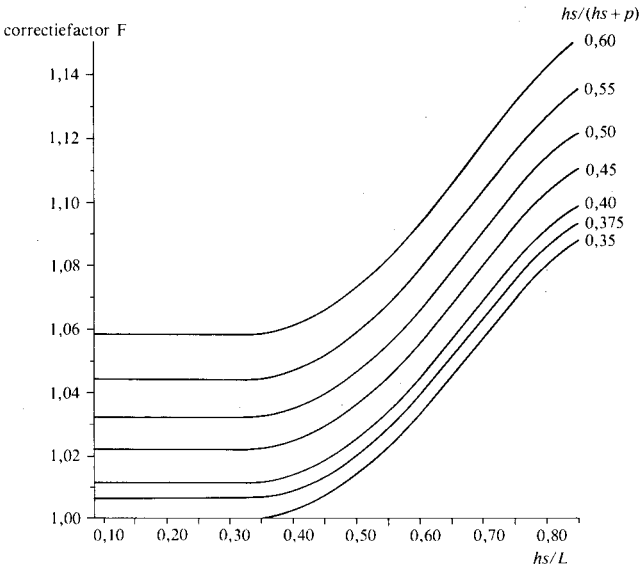
- Q = debiet ($m^3 \cdot s^{-1}$)
- g = versnelling van de zwaartekracht ($m \cdot s^{-2}$)
- C_v = snelheidscoëfficiënt, welke dient ter correctie voor het verwaarlozen van de snelheidshoogte $v_1^2/2g$; deze coëfficiënt kan worden berekend met de formule:

$$C_v = (1 + v_1^2/2g \cdot hs)^{3/2} \quad (1.1.23)$$
 v_1 = stroomsnelheid ter plaatse van overstorthoogte hs
- C_d = afvoercoëfficiënt, welke onder andere dient ter correctie voor energieverliezen tussen de sectie ter plaatse van de overstorthoogte hs en de doorstroom-opening boven de kruin en ten gevolge van de kromming van de stroomlijnen in de doorstroom-opening;
 C_d is dus afhankelijk van de overstorthoogte hs , de kruinlengte L , de kruinbreedte b en de vorm van de kruin
- b = de breedte van de kruin (m)
- hs = overstorthoogte (m)

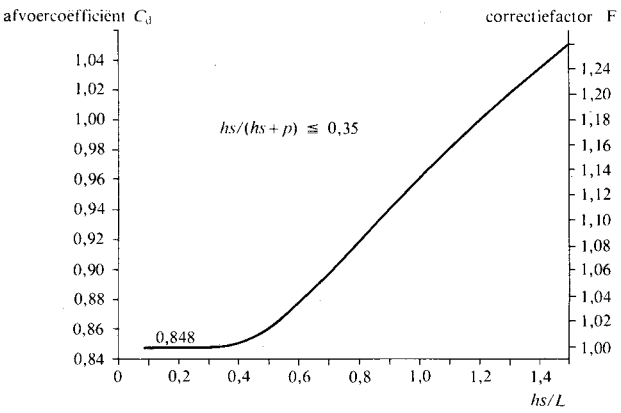
Als voor $g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ wordt ingevuld in formule 1.1.22, dan is:

$$Q = 1,7 \cdot C_v \cdot C_d \cdot b \cdot h s^{3/2} \tag{1.1.24}$$

Voor de lange rechthoekige overlaat (figuur 1.1.37) kan de waarde voor C_d bepaald worden met behulp van de grafieken in figuur 1.1.38 (*Working Group on Small Hydraulic Structures*, 1976).

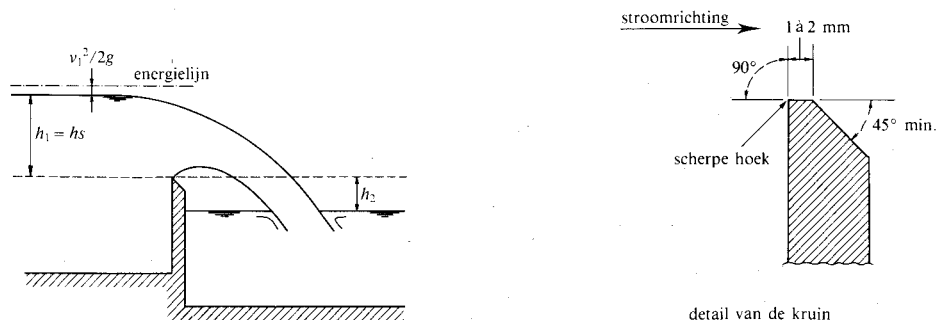


Figuur 1.1.38a. Correctiefactor F als een functie van hs/L en $hs/(hs + p)$



Figuur 1.1.38b. Relatie tussen afvoercoëfficiënt C_d , hs/L en correctiefactor F , indien $hs/(hs + p) \leq 0,35$.

Scherpe overlaten worden gekenmerkt door een kruin waarvan de lengte in de stroomrichting slechts 1 à 2 mm bedraagt (figuur 1.1.39). De overlaat wordt meestal gemaakt van een metalen plaat en dan bij voorkeur van roestvast staal of messing, ter voorkoming van roestvorming.



Figuur 1.1.39. Scherpe overlaat.

De overstortende straal laat los op de scherpe bovenstroomse hoek van de kruin (zie detail figuur 1.1.39). In de ruimte onder de overstortende straal behoort de luchtdruk nagenoeg gelijk te zijn aan de atmosferische. De overstortende straal heeft de neiging lucht uit deze ruimte mee te voeren in benedenstroomse richting. Staat deze ruimte niet in verbinding met de buitenlucht, dan zal de druk onder de straal dalen. Dit heeft een afzuigend effect, waardoor de afvoer aanzienlijk groter wordt. Ontbreekt een spontane beluchting, dan moet voor een kunstmatige beluchting met behulp van pijpen worden gezorgd. De scherpe overlaat blijkt zeer gevoelig voor vervuiling.

De afvoerformule voor de scherpe rechthoekige overlaat luidt:

$$Q = 2/3 \cdot (2g)^{1/2} \cdot C_e \cdot b \cdot h_s^{3/2} \quad (1.1.25)$$

waarin:

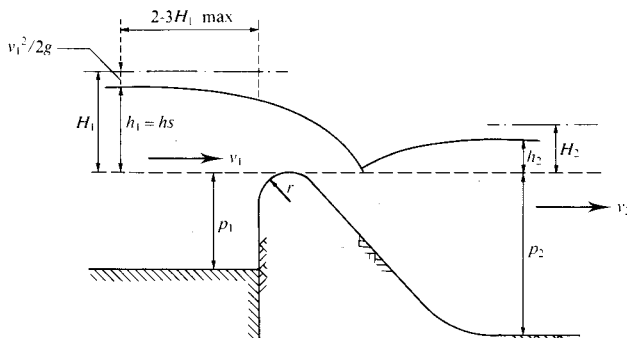
C_e = effectieve afvoercoëfficiënt, verkregen uit $C_v \cdot C_d \cdot \delta$
 δ contractie-coëfficiënt

Als voor $g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ wordt ingevuld in formule 1.1.25 dan is:

$$Q = 2,95 \cdot C_e \cdot b \cdot h_s^{3/2} \quad (1.1.26)$$

(Working Group on Small Hydraulic Structures, 1976)

Korte overlaten hebben een kruin die in de stroomrichting niet lang en niet scherp is. Er is geen hydrostatische drukverdeling boven de kruin (figuur 1.1.40), zoals bij de lange overlaat.



Figuur 1.1.40. Korte overlaat.

Evenmin kan men een gedefinieerd loslaatpunt aanwijzen voor de onderkant van de straal, zoals bij de scherpe overlaat. De stroomlijnen bij de korte overlaat zijn gekromd en blijven de kruin volgen. In sommige gevallen is beluchting van de overstortende straal nodig. Naarmate de kruin meer gestroomlijnd is, wordt de afvoercoëfficiënt groter.

Voor een korte rechthoekige overlaat geldt ook afvoerformule (1.1.24):

$$Q = 1,7 \cdot C_v \cdot C_d \cdot b \cdot h_s^{3/2} \quad (1.1.24)$$

De in deze paragraaf genoemde afvoerformules gelden voor volkomen overlaten.

Volkomen en onvolkomen overlaten

Bij een volkomen overlaat is er geen beïnvloeding door de benedenwaterstand op de in de afvoerformule aangegeven betrekking tussen de overstorthoogte h_s en het debiet Q . Bij een onvolkomen overlaat is er vanaf een bepaalde waarde van de benedenwaterstand wel een beïnvloeding. De mate van beïnvloeding hangt af van het type stuw en de procentuele verdrinkingsgraad s :

$$s = 100 \frac{h_2}{h_s} \quad (\%) \quad (1.1.27)$$

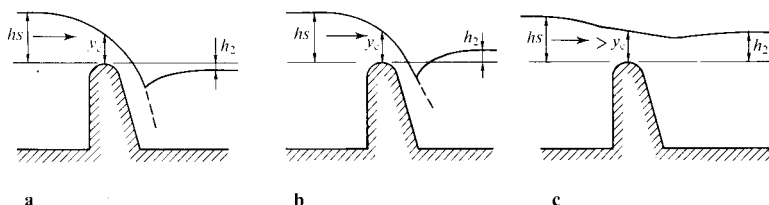
waarin:

h_2 = hoogteverschil tussen de benedenwaterstand en de kruinhoogte van de stuw
 h_s = overstorthoogte

In plaats van volkomen en onvolkomen spreekt men ook wel van ongestuwde en gestuwde afvoer. Een onvolkomen overlaat wordt ook wel verdrongen genoemd.

De lange overlaat wordt onvolkomen indien het water boven de kruin overgaat van schietend naar stromend water. Theoretisch is in dit geval $h_2 \approx 2/3 H_1$ (zie figuur 1.1.37). Indien H_1 gelijk gesteld wordt aan hs , dan wordt de verdrinkingsgraad in dit geval $s \approx 67\%$.

Voor een korte overlaat is de overgang van volkomen naar onvolkomen weergegeven in figuur 1.1.41.



Figuur 1.1.41. Overgang van volkomen naar onvolkomen afvoer bij een korte overlaat.

In figuur 1.1.41 geldt voor:

- geval a: h_2 is negatief en de overlaat werkt volkomen;
- geval b: h_2 is positief, doch boven de kruin is schietend water aanwezig; de afvoer is volkomen;
- geval c: h_2 is positief zonder dat schietend water aanwezig is; de afvoer is onvolkomen.

De overgang van volkomen naar onvolkomen afvoer ligt voor de verschillende typen stuwen bij verschillende verdrinkingsgraden:

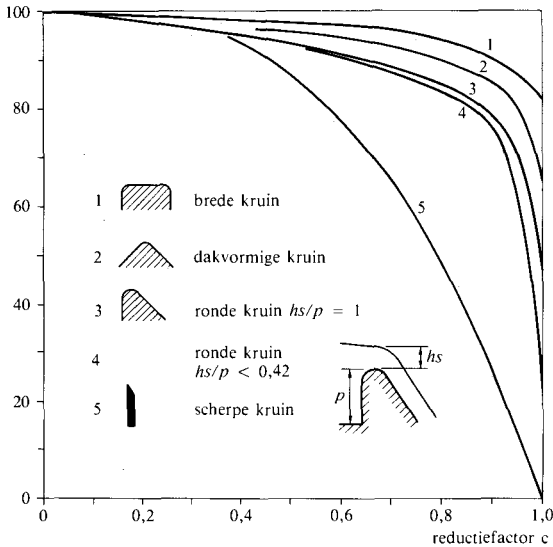
- $s = 30$ à 95% voor lange overlaten
- $s = 0$ voor scherpe overlaten
- $s = 20$ à 70% voor korte overlaten
- $s = 25$ à 95% voor flumes

Voor de afvoerberekening van een onvolkomen overlaat kan volgens *Schmidt* (1954) ervan worden uitgegaan dat de onvolkomen afvoer evenredig is aan de volkomen afvoer, zodat gesteld kan worden dat:

$$Q_{\text{onvolkomen}} = c \cdot Q_{\text{volkomen}} \quad (1.1.28)$$

De reductiefactor c is afhankelijk van de verdrinkingsgraad en de kruinvorm. In figuur 1.1.42 is de factor c voor verschillende kruinvormen in relatie met de verdrinkingsgraad aangegeven.

verdrinkingsgraad s (%)



Figuur 1.1.42. Relatie tussen verdrinkingsgraad s en reductiefactor c voor verschillende kruinvormen.

Formules voor het dimensioneren van stuwen in de ontwerp-praktijk

In waterbeheersingsplannen worden veel vaste (schotbalk) stuwen, klepstuwen en in mindere mate stuwen met schuiven toegepast. Daar deze stuwen een rechthoekige doorlaatopening hebben, reageren als korte en soms lange overlaten, wordt voor de berekening van deze stuwen uitgegaan van formule 1.1.24, waarin het product $C_v \cdot C_d$ vervangen wordt door de coëfficiënt m . De formule wordt nu:

$$Q = 1,7 \cdot m \cdot b \cdot hs^{3/2} \quad (1.1.29)$$

waarin:

- Q = debiet over de stuw ($m^3 \cdot s^{-1}$)
 m = coëfficiënt, o.a. afhankelijk van de vorm van het stuwlichaam, aanstroomsituatie, constructie van de stuw en eventueel klepstand
 b = breedte van de stuw (m)
 hs = hoogte van de boven-waterspiegel ten opzichte van de stuwkruin = overstorthoogte (m)

Deze formule geldt dus alleen voor afvoeren bij beluchte straal die niet beïnvloed worden door de benedenwaterstand (volkomen overlaat). Bij het bepalen van de dimensies van

een stuw wordt meestal uitgegaan van een maximaal toelaatbare overstorthoogte en de hierbij behorende breedte b berekend met:

$$b = \frac{Q}{1,7 \, m \cdot h s^{3/2}} \tag{1.1.30}$$

In de praktijk wordt vaak uitgegaan van een maximaal toelaatbare overstorthoogte van 0,30 m bij N.W.-afvoer (Q_n) en van 0,50 m bij H.W.-afvoer (Q_h). Hierbij is verondersteld, dat de overtollige energie in het water benedenstrooms van de stuw zodanig vernietigd wordt door een woelbak en/of stortebed, dat de waterloop niet wordt aangetast (voor woelbak en stortebed zie hoofdstuk V.1.3. Stuwen in waterbeheersingsplannen).

Uit experimenten is gebleken dat de waarde van de coëfficiënt m voor een belangrijk deel bepaald wordt door de vorm van de kruin.

	Kruinvorm	m -waarde
	Breed, scherp, loodrechte wanden	0,85-0,88
	Breed, afgeronde hoeken, loodrechte wanden	0,87-0,95
	Breed, geheel afgerond, gestreken klep	1,13-1,27
	Scherp, goede beluchting	1,11
	Afgerond, loodrechte bovenstroomse wand en schuine benedenstroomse wand	1,30
	Dakvormig, afgerond	1,37

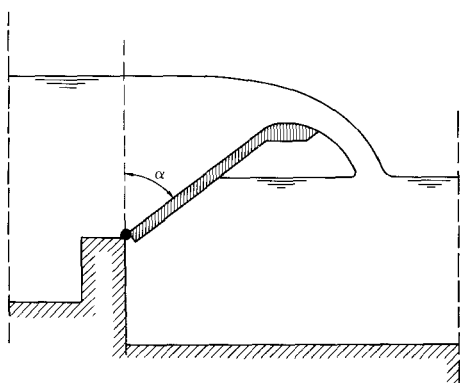
Figuur 1.1.43. Relatie tussen kruinvormen en m -waarden bij rechthoekige stuwen.

Een goed afgeronde bovenkant, waarbij de overstortende straal het oppervlak van het stuwlichaam blijft volgen, levert een hoge m -waarde. Ook is een goede beluchting van belang. Om een indruk te geven van de waarde van m voor verschillende kruinvormen bij rechthoekige stuwen, wordt verwezen naar figuur 1.1.43.

Bij klepstuwen hangt de m -waarde ook af van de stand van de klep, die aangegeven wordt door de hoek α (zie figuur 1.1.44). Voor de klepstuw uit figuur 1.1.44 bleek uit metingen dat de volgende m -waarden gebruikt mogen worden voor:

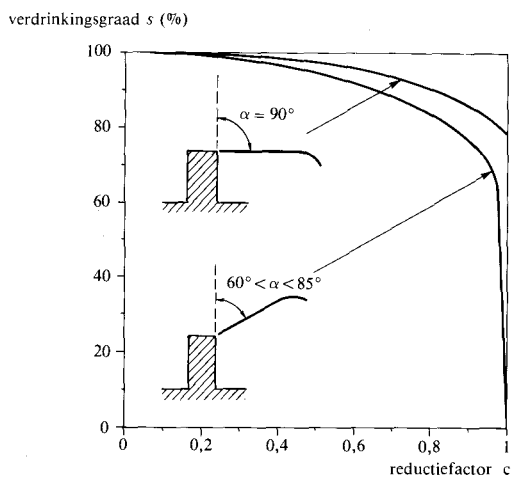
$$\begin{aligned} \alpha &\leq 83^\circ & m &= 1,16 \\ \alpha &> 83^\circ & m &= 1,16 - 0,034 (\alpha - 83^\circ) \end{aligned}$$

Dus voor $83^\circ < \alpha \leq 90^\circ$ varieert m tussen 1,16 en 0,92.



Figuur 1.1.44. Klepstuw.

Bij gestuwde afvoer moet voor de bepaling van de reductiefactor c ook rekening gehouden worden met de hoek α . In figuur 1.1.45 is voor de waarde van $60^\circ < \alpha < 85^\circ$ en $\alpha = 90^\circ$ een relatie tussen de verdrinkingsgraad s en de reductiefactor c voor de klepstuw in figuur 1.1.44 aangegeven.



Figuur 1.1.45. Relatie tussen verdrinkingsgraad s , reductiefactor c en klephoek α voor de klepstuw van figuur 1.1.44.

Voor het ontwerpen van stuwen met gestuwde afvoer kan gebruik gemaakt worden van formule 1.1.29, waaraan de reductiefactor c is toegevoegd, zodat:

$$Q = 1,7 \cdot c \cdot m \cdot b \cdot h_s^{3/2} \quad (1.1.30)$$

c = reductiefactor bij gestuwde afvoer

Bij het ontbreken van waarden voor de reductiefactor c wordt in de ontwerppraktijk een stuw in een gestuwde situatie wel berekend als een duiker. Hierbij wordt duikerformule 1.1.13 gebruikt (zie par. V. 1.1.6. Berekeningsmethode duikers, bruggen, onderleiders en hevels):

$$Q = \mu \cdot A \sqrt{2 \cdot g \cdot z}$$

waarin:

μ = vaak gelijkgesteld aan m

$A = b \cdot h_2$ b = stuwbreedte

h_2 = verschil tussen benedenwaterstand en stuwkruinhoogte
(fig. 1.1.37 en 1.1.40)

$z = h_s - h_2$

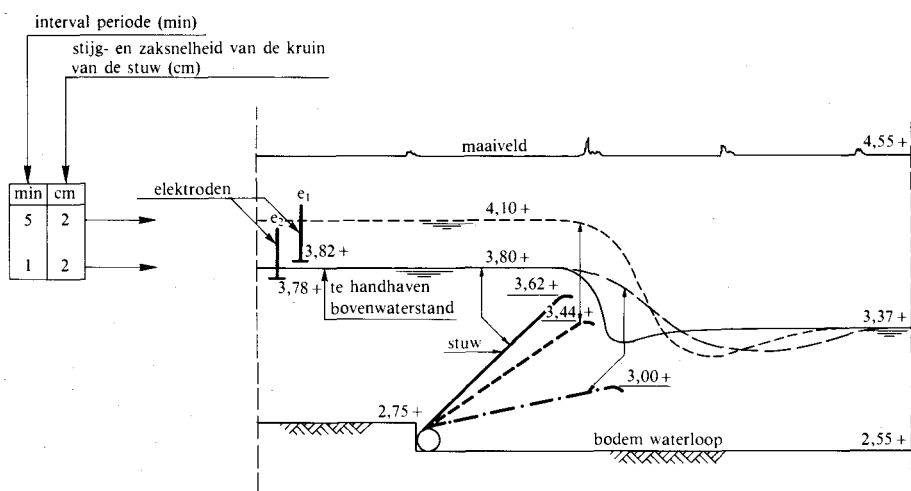
Daar bij het ontwerpen van waterbeheersingsplannen niet exact bekend is hoe de te ontwerpen stuwen in de praktijk zullen worden gemaakt, wordt voor het ontwerp meestal uitgegaan van een waarde van 1,1 voor de coëfficiënt m . Is voor het ontwerp de waarde van m erg belangrijk, dan zal men deze door middel van modelonderzoek in een waterloopkundig laboratorium moeten bepalen.

De meeste stuwen worden gebouwd als regelstuwen. Wil men echter ook debietmetingen verrichten met deze stuwen, dan zullen deze geijkt moeten worden of men zal echte meetstuwen moeten bouwen. Voor meer informatie over meetstuwen wordt verwezen naar *Boiten* (1977) en *Working Group on Small Hydraulic Structures* (1976).

Automatische stuwen

Voor de beschrijving van automatische stuwen wordt verwezen naar hoofdstuk V.1.3. Stuwen in waterbeheersingsplannen. Deze stuwen worden meestal gebruikt om automatisch een bepaald bovenstrooms peil constant te houden. Dit gebeurt door middel van twee elektroden e_1 en e_2 (zie figuur 1.1.46), die bovenstrooms van de stuw worden gemonteerd.

Meestal wordt elektrode e_1 2 cm boven de te handhaven waterstand gezet en e_2 2 cm eronder. Men kan nu periodiek deze elektroden aftasten. In de praktijk kan deze periode variëren tussen 1 minuut en enkele uren. Indien de waterstand boven elektrode e_1 stijgt, zal de stuwklep automatisch met een zekere in te stellen afstand zakken. Deze afstand varieert in de praktijk van enkele cm's tot enkele decimeters. Daalt het water onder elektrode e_2 , dan zal de stuwklep met een zekere afstand stijgen. In de praktijk is nu vaak

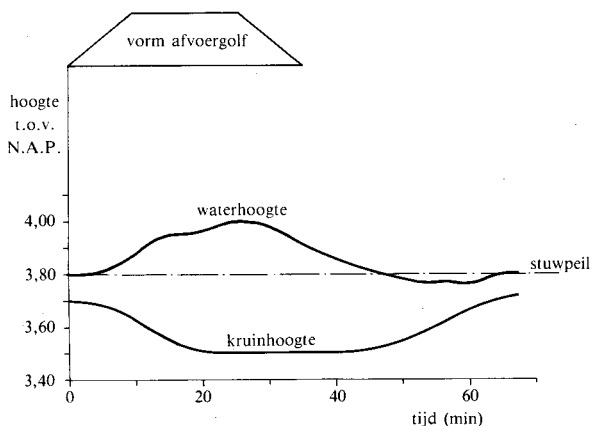


Figuur 1.4.46. Schema van een geautomatiseerde stuw, die een bepaalde bovenwaterstand moet handhaven.

de vraag hoe lang de intervalperiode moet zijn waartussen de elektrodes moeten worden afgetast en hoeveel cm de zakking of stijging van de klep dan moet zijn.

Om hierop een antwoord te kunnen geven, kan met behulp van een computerprogramma dat met niet-stationaire stroming rekent, een modelberekening worden uitgevoerd (zie par. V. 1.1.8. Berekening niet-stationaire stroming met behulp van het programma HYDRA). In figuur 1.1.46 is een dergelijke berekende stuw weergegeven. Deze stuw moet een bovenstroomse waterstand handhaven van 3,80 m + N.A.P., bij plotselinge afvoeren van riooloverstorten. In eerste instantie was in het model een interval van 5 minuten ingevoerd en een zak-stijgsnelheid van 2 cm. Dus de maximum zak- of stijgsnelheid van de klep is dan 2 cm per 5 min. In dit geval kon het waterpeil van 3,80 m + niet worden gehandhaafd, het steeg tot 4,10 m +. De klep kon niet verder dalen dan tot 3,44 m +. Door nu in de modelberekening de intervalperiode te verlagen tot 1 min., was het wel mogelijk om een peil van 3,80 m + te handhaven. De klep kon nu tot 3,00 m + zakken. De automatische stuw kan nu met deze berekende gegevens worden afgesteld. Aan de hand van de praktijkwaarnemingen wordt dan nog nagegaan of deze afstelling goed functioneert.

Een ander probleem kan zich voordoen bij een bestaande stuw, die men wil automatiseren. Uit een modelberekening kan dan het verloop van de bovenwaterstand van de stuw in de tijd worden bepaald bij een maximum afvoergolf. Een voorbeeld wordt gegeven in figuur 1.1.47. In dit geval kan de klep niet ver genoeg zakken en ontstaat er een waterstandsstijging met een maximum van 0,20 m gedurende circa 45 min., wat doorgaans acceptabel zal zijn.



Figuur 1.1.47. Golfafvoer via een te automatiseren stuw.

Uit het voorgaande blijkt dat voor een goed ontwerp van een geautomatiseerde stuw een modelberekening zinvol kan zijn.

Ontwerpen van een stuw in relatie met de bovenstroomse waterloop

Bij het ontwerpen van waterbeheersingsplannen moeten stuw en bovenstroomse waterloop altijd in samenhang worden beschouwd, omdat beide het bovenstroomse peil beïnvloeden. Voor het ontwerp van een stuw moeten aannamen worden gedaan, zoals overstorthoogte, kruinhoogten bij de verschillende ontwerpafvoeren (Q_n , Q_h en Q_m), toelaatbare waterstanden en stroomsnelheden in de waterloop en dergelijke. De meeste van deze aannamen worden gedaan op grond van theoretische of praktische overwegingen die niet altijd door voldoende kennis kunnen worden onderbouwd. Deze lacune wordt in de praktijk gecompenseerd door de ervaring en intuïtie van de betrokken ontwerper en beheerder. Een veel voorkomend probleem is bijvoorbeeld de vraag of men een vaste, een handmatig regelbare of een geautomatiseerde stuw moet maken.

Om enig inzicht in deze ontwerpproblematiek te geven, zijn vergelijkende berekeningen gemaakt voor het ontwerp van een stuw en een waterloop in een vlak gebied met vaste, handmatig regelbare en automatische stuwen. Er is van uitgegaan dat het waterpeil in de N.W.-afvoersituatie niet meer dan 0,10 m boven het polderpeil (p.p.) zou stijgen en in de H.W.-afvoersituatie niet meer dan 0,40 m. Enige onderschrijding van het polderpeil nabij de stuw wordt toegestaan. In tabel 1.1.15 is het resultaat weergegeven van enkele ontworpen stuwen en waterlopen in deze situatie.

Uit de tabel blijkt dat:

- in vrijwel alle gevallen met een vaste stuw kan worden volstaan, zij het dat bij grotere debieten een verlengde kruin moet worden toegepast;

Tabel 1.1.15. Enkele voorbeelden van ontworpen stuwen en waterlopen in een vlak gebied

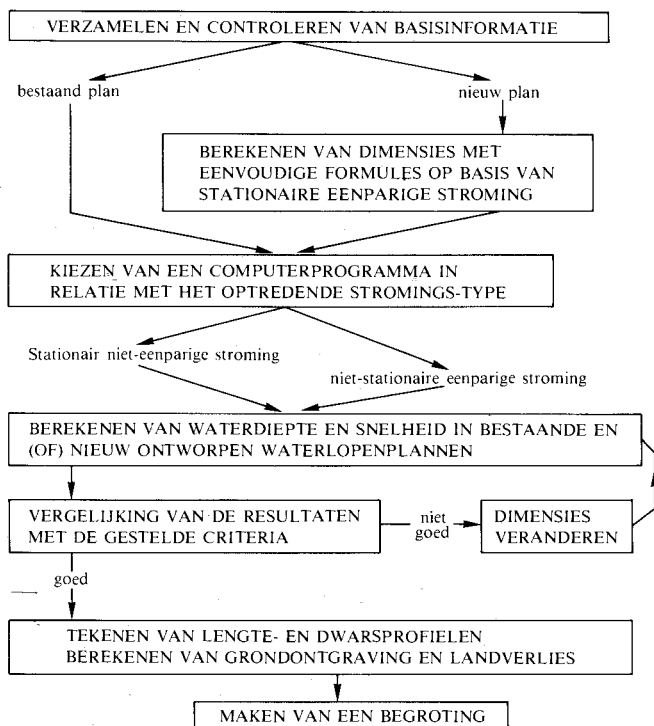
Gegevens waterloop S = verhang GV = grondverzet waterloop $k_M = 34h^{1/3}$											
Gegevens stuw hs_n = overstorthoogte bij Q_n (N.W.-afvoer) $Q_n = \frac{1}{2}Q_h$ hs_h = overstorthoogte bij Q_h (H.W.-afvoer) $m = 1,1$											
Geval A: debiet Q_h (H.W.-afvoer) = 0,400 m³·s⁻¹; lengte waterloop = 2.000 m											
Gegevens waterlopen						Lengtedoorsnede waterstanden		Gegevens stuwen			
S m·km ⁻¹	bw m	h_n m	d m	GV m ³ ·m ⁻¹	LV m ² ·m ⁻¹			bs m	hs_n m	hs_h m	bedie- ning
0,035	1,45	0,75	1,55	5,9	6,1			5,0	0,08	0,12	vast
0,075	1,30	0,65	1,50	5,3	5,8			1,3	0,19	0,30	hand- matig
0,1	1,25	0,60	1,50	5,3	5,8			0,5	0,36	0,57	auto- matisch
Geval B: $Q_h = 1$ m³·s⁻¹; lengte waterloop = 3500 m											
Gegevens waterlopen						Lengtedoorsnede waterstanden		Gegevens stuwen			
S m·km ⁻¹	bw m	h_n m	d m	GV m ³ ·m ⁻¹	LV m ² ·m ⁻¹			bs m	hs_n m	hs_h m	bedie- ning
0,029	2,05	1,00	1,90	9,3	7,8			12,0	0,08	0,12	vast
0,043	1,90	0,95	1,85	8,6	7,5			3,25	0,19	0,30	hand- matig
0,057	1,85	0,90	1,80	8,2	7,3			1,25	0,36	0,57	auto- matisch
Geval C: $Q_h = 2$ m³·s⁻¹; lengte waterloop = 3500 m											
Gegevens waterlopen						Lengtedoorsnede waterstanden		Gegevens stuwen			
S m·km ⁻¹	bw m	h_n m	d m	GV m ³ ·m ⁻¹	LV m ² ·m ⁻¹			bs m	hs_n m	hs_h m	bedie- ning
0,02	3,70	1,25	2,05	13,9	9,9			24,0	0,08	0,12	vast
0,043	2,85	1,15	2,00	11,7	8,9			6,5	0,19	0,30	hand- matig
0,057	2,75	1,10	2,00	11,5	8,8			2,5	0,36	0,57	auto- matisch

- het grondverzet en landverlies van de te graven waterloop afnemen bij toepassing van achtereenvolgens vaste, handmatig regelbare en automatische stuwen;
- de klepbreedte van een handmatig regelbare stuw, door automatisering zeker kan worden gehalveerd;
- bij afvoeren tussen 0 en Q_n (N.W.) veelvuldige bediening nodig is van handmatig regelbare stuwen. Dit strookt niet met een op intuïtie gebaseerd beheer, waar juist alleen maar bij topafvoeren zal worden gereageerd.

Als algemene conclusie zou kunnen worden gesteld dat een ontwerp dat uitgaat van een actief beheer en een goede automatisering van stuwen, kan leiden tot een besparing op het totaal van de kosten van aanleg en bediening en tot een beter waterhuishoudkundig beheer.

1.1.8. Berekeningstechnieken

Voor de ontwerpprocedure van waterbeheersingsplannen, zoals die momenteel veelal worden toegepast, wordt verwezen naar figuur 1.1.48.



Figuur 1.1.48. Ontwerpprocedure van een waterbeheersingsplan.

Voor een globale ontwerpberekening van de afmetingen van waterlopen en kunstwerken bij stationaire eenparige stroming (zie par. V. 1.1.3. Stromingstypen en stromingsclassificatie in open waterlopen) wordt gebruik gemaakt van grafieken, rekenlinealen en kleine rekenmachines. Met een kleine programmeerbare rekenmachine kunnen ook stationaire niet-eenparige berekeningen voor één waterloop worden uitgevoerd (*Hartman*, 1986). Met behulp van computerprogramma's wordt nu van het globale ontwerp van het gehele waterbeheersingsplan een controleberekening uitgevoerd met stationaire niet-eenparige stroming bij verschillende afvoersituaties (N.W., H.W. en eventueel M.W.).

Een aantal instellingen hebben voor de controleberekening van waterbeheersingsplannen computerprogramma's ontwikkeld, waarvan in tabel 1.1.16 een overzicht van de meest gebruikte is weergegeven.

Tabel 1.1.16. Overzicht computerprogramma's voor de berekening van waterbeheersingsplannen.

Benaming programma	Naam	Toepassing		Rekenwijze			
		dimensio- sionerend	contro- lerend	stationair	niet- stationair	boom- structuur	net- structuur
DIWA	Landinrichtingsdienst	-	+	+	-	+	-
HYDRA	Heidemij	-	+	+	+	+	+
KNOTA	Rijksdienst						
	IJsselmeerpolders	-	+	+	+	+	+
NETFLOW	Waterloorkundig						
	Laboratorium	-	+	+	+	+	+
NIPEST	Grontmij	-	+	+	+	+	+
RUBICON	Haskoning	-	+	+	+	+	+

Voor de controleberekening van waterbeheersingsplannen in landinrichtingsprojecten wordt meestal gebruik gemaakt van het door de Landinrichtingsdienst ontwikkelde programma DIWA (*André en Gelok*, 1976).

Berekening stationaire stroming met behulp van het programma DIWA

Het programma DIWA berekent debieten, waterstanden, stroomsnelheden en droogleggingen in een waterbeheersingsplan met boomstructuur voor stationaire eenparige- en niet-eenparige stroming. De gebruikelijke invoergegevens voor het programma zijn:

- afmetingen en hoogteligging van de bestaande en nieuw ontworpen waterlopen en kunstwerken;
- afwaterende onderdelen en afvoerintensiteiten;
- hydraulische parameters, zoals wandruwheidsfactoren voor waterlopen en verliescoëfficiënten voor kunstwerken.

Het programma kan onder andere gebruikt worden voor:

- het doorrekenen van een bestaand waterbeheersingsplan om hierin de knelpunten te vinden;
- een controleberekening met verschillende afvoersituaties van een met stationaire eenparige stroming ontworpen waterbeheersingsplan;
- het berekenen van de consequenties van wijzigingen bij de uitvoering van een plan;
- het doorrekenen van waterlopen waarvan de afmetingen niet mogen worden gewijzigd, bijvoorbeeld vanwege landschappelijke of natuurwetenschappelijke waarden;
- het berekenen van een plan met verschillende afvoersituaties of k_M -waarden ten behoeve van een optimale uitvoering van het beheer;
- het berekenen van een plan waarbij het afvoersysteem bestaat uit een combinatie van open waterlopen en gesloten leidingen;
- het berekenen van de afmaling bij gemalen.

In tabel 1.1.17 en 1.1.18 is output van het programma DIWA weergegeven met gegevens van berekende waterlopen van het in figuur 1.1.2 getekende poldertje. De gegevens van de berekende kunstwerken staan in tabel 1.1.19.

Tabel 1.1.17. Output van het programma DIWA, met gegevens van berekende waterlopen.

Landinrichtingsdienst Afd. Waterhuishouding										Waterlopen Blz.WL- 1										23 augustus 1988										
Programma DIWA																														
Waterlopenplan : RVK PROEFPOLDER										Plannummer : 100 Groepnummer : 1 TESTBEREKENING										BD = Bestaand VN = Verbeteren NW = Nieuw DY = Dummy DP = Opschonen										
Gegevens WATERLOPEN bij 100 procent afvoer en een beginpeil van +50 cm t.o.v. N.A.P. V																														
Frequentie van 1.00 keer per 1 jaar																														
Knooppunten		Ken		Afwaterende		Afv		Debiet		Leng		Vhang		Talud		Bodem		BOVstrooms		BERstrooms		Peilen in CM		t.o.v. N.A.P.		Kunstwerk		BD		
BOV	BEN	1	2	3	4	5	6	M3/S.	7	M	8	M/KM	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24		
10	20	bul		+1080	1080	+32		0.346	10	+0.00	1	1.5			55	32	21	87	32	22	87	-156	-156	-69	-69	A	+12			
10	20			Afvoer van een buiten-gebied van 1080 ha.																										
20	30	a		+10	1090	+117		0.357	270	+0.41	L1	Re			55	32	21	86	33	17	94	-156	-167	-70	-73		NW			
30	100	b		+B	109B	+117		0.367	460	+0.26	1	1.5			65	33	18	97	34	15	106	-170	-182	-73	-76		NW			
40	50	bu2		+9100	9100	+23		2.093	10	+0.00	1:30	20			150	35	31	130	35	32	130	-99	-99	+31	+31	B	+19	BD		
40	50			Afvoer van de rvk hummelo-krummelo (9100 ha).																										
50	80	c		+21	9121	+60		2.106	300	+0.10	Onthpad				150	35	32	128	33	33	128	-99	-102	+29	+26	k1	+0	VN		
50	80			2.106 110 +0.10 Onthpad													150	35	33	128	35	33	127	-102	-103	+26	+24		DN	
60	70	d		+63	63	+23		0.014	1	+0.00	1	1.5			50	24	4	35	24	4	35	-10	-10	+25	+25	C	+1	DY		
70	80	e		+13	76	+60		0.022	400	+0.00	1	1.5			50	27	4	50	27	4	49	-25	-25	+25	+24		DN			
80	90			2.128 0																								Ds	+442	DY
90	100	f		+5	9202	+117		2.134	140	+0.29	1:30	2015			150	35	33	130	35	31	132	-204	-208	-74	-76		NW			
100	120			2.527 100 +0.31 Onthpad													155	40	35	135	40	34	137	-211	-214	-76	-77	k1	+0	OP
100	120			2.527 100 +0.31 Onthpad													155	40	34	137	40	33	140	-214	-217	-77	-78	k2	+28	OP
100	120			2.527 50 +0.31 Onthpad													155	40	35	137	40	34	138	-217	-219	-80	-81	k3	+32	OP
100	120			2.527 50 +0.31 Onthpad													155	40	36	135	40	35	136	-219	-220	-84	-85	k4	+28	OP
100	120			2.527 50 +0.31 Onthpad													155	40	36	133	40	36	134	-220	-222	-87	-88	k5	+37	DP
100	120			2.527 100 +0.31 Onthpad													155	40	37	130	40	36	132	-222	-225	-92	-93	k6	+45	DP
100	120			2.527 50 +0.31 Onthpad													155	40	38	128	40	38	129	-225	-227	-97	-98	k7	+40	OP
100	120			2.527 100 +0.31 Onthpad													155	40	40	125	40	39	127	-227	-230	-102	-103	k8	+78	OP
100	120			2.527 10 +0.31 Onthpad													155	40	43	119	40	43	119	-230	-230	-111	-111		DP	
110	120			0.034 300 +0.10 1: 1.5													50	27	6	49	27	5	51	-158	-161	-109	-110	k1	+2	NW
110	120			0.034 200 +0.10 1: 1.5													50	27	5	51	27	5	53	-161	-163	-110	-111	k2	+4	NW
110	120			0.034 170 +0.10 1: 1.5													50	27	5	52	27	5	54	-163	-165	-111	-111		NW	
120	160	i		+29	29	+117		2.569	160	+0.19	Onthpad				175	40	38	126	40	38	127	-237	-240	-111	-113		NW			
130	140	j		+21	21	+117		0.025	340	+0.29	1: 1.5				50	25	6	40	27	4	49	-40	-50	-0	-1	Es	+56	NW		
140	150	k		+41	62	+117		0.073	350	+0.71	1: 1.5				50	23	22	34	22	31	26	-100	-125	-66	-99	F	+59	NW		
150	160	l		+13	75	+117		0.08B	400	+0.25	1: 1.5				50	26	16	45	26	16	47	-150	-160	-105	-113		NW			
160	170			2.679 250 +0.09 Onthpad													175	40	32	145	40	32	145	-258	-260	-113	-115	k1	+8	VN
160	170	m		+20	10459	+117		2.679	100	+0.09	Onthpad				175	40	33	144	40	32	144	-260	-261	-116	-117	C	+24	NW		
170	180			2.679 100 +0.00 Onthpad													175	40	32	146	40	32	145	-265	-265	-119	-120	H	-1700	NW

Tabel 1.1.18. Output van het programma DIWA, met gegevens over taludhellingen, onderhoudspaden, verschil tussen gewenste en berekende waterpeilen en droogleggingen.

Landinrichtingsdienst Afd. Waterhuishouding			Programma DIWA			Drooglegging Bz.DR- 1			23 augustus 1988					
Waterlopenplan : RVK PROEFPOLDER			Plannummer : 100			Groepnummer : 1			TESTBEREKENING			BD = Bestaand VN = Verbeteren NW = Nieuw DY = Dummy MP = Min.profiel OP = Opschonen		
100 procent AFVOER en een BEGINPEIL van +50 CM t.o.v. N.A.P.														
Frequentie van 1.00 keer per 1 jaar.														

Gegevens WATERLOPEN met ONDERHOUDSPADEN , VERSCHILLENDE TALUDHELLINGEN ,														
VERGELIJKING van opgegeven LANDBOUWKUNDIGE WENSPEILEN (bij 100 procent) met BEREKENDE WATERPEILEN van het plan en														
BEREKENDE DROOGLEGGING bij de benedenstroomse knooppunten.														

Knoop- punten	Debiet in M3/SEC	Leng- te M	Talud- helling N1 N2 N3 M 4 5 6 7 8 9	Talud- helling pad CM K11 K12 BRED HOOG	Talud CM N4 N5	Bodem peilen CM BOVE BENE	Bodempeilen CM N.A.P. BOVE BENE	Waterpeilen BEREKENDE BOVE BENE	CM t.o.v N.A.P. GEMENSTE BOVE BENE	Verschil Ber-Wens BOV BEN	Maat- veld leg CM NAP CM	Droog- leg CM 22	BD of MP 24 25	
BOV 1	BEN 2													
10	20	0.346	10 15			55	-156	-156	-69	-70	-70	-80	+1 +10	+20 +90
Afvoer van een buiten-gebied van 1080 HA.														
10	30	0.357	270 20			55	-156	-167	-70	-73	-80	-80	+10 +7	+35 +108 NW
Talud RECHTS														
20														
De as van de nieuwe waterloop is 4 m verschoven t.o.v. de bestaande as, vanwege de verbreding van de weg van Summelo naar Krummelo.														
30	100	0.367	460 15			65	-170	-182	-73	-76	-80	-80	+7 +4	+10 +86 VN
40	50	2.093	10 30 20	65		150	-99	-99	+31	+31	+25	+25	+6 +6	+130 +99 BD
Afvoer van de RVK HUMMELLO-KRUMMELLO (9100 HA)														
50	80	2.106	410 30 20	65	125 200 10	150	-99	-103	+29	+24	+25	+25	+4 -1	+140 +116 VN
60	70	0.014	1 15			50	-10	-10	+25	+25	+40	+25	-15 +0	+135 +110 DY MP
70	80	0.022	400 15			50	-25	-25	+25	+24	+25	+25	+0 -1	+130 +106 VN MP
80	90	2.128	0.00				-103	-103	+24	+24	+25	+25	-1 -1	+135 +111 DY
90	100	2.134	140 30 20 15	65 140 125		150	-204	-208	-74	-76	-80	-90	+16 +14	+20 +96 VN
100	120	2.527	610 30 20	75 125 200 10		155	-211	-230	-76	-111	-90	-110	+14 -1	+10 +121 OP
110	120	0.034	670 15			50	-158	-165	-109	-111	-110	-110	+1 -1	+10 +121 NW MP
120	160	2.569	160 30 20	75 125 200 10		175	-237	-240	-111	-113	-110	-110	-1 -3	+5 +118 NW
130	140	0.025	340 15			50	-40	-50	+0	-1	+1	+1	-1 -2	+120 +121 DY MP
140	150	0.073	350 15			50	-100	-125	-66	-99	-60	-85	-6 -14	+30 +129 VN MP
150	160	0.088	400 15			50	-150	-160	-105	-113	-110	-110	+5 -3	-5 +108 NW MP
160	170	2.679	350 30 20	75 125 200 10		175	-258	-261	-113	-117	-110	-115	-3 -2	-20 +97 VN
170	180	2.679	100 30 20	75 125 200 20		175	-265	-265	-119	-120	-115	-115	-4 -5	-150 -30 NW
Waterloop met kade.														
170														

Berekening niet-stationaire stroming met behulp van het programma HYDRA

Voor het uitvoeren van berekeningen bij niet-stationaire stromingstoestand wordt evenals bij de berekening van de stationaire stromingen begonnen met het verzamelen van de benodigde gegevens. Sommige gegevens, zoals af te voeren hoeveelheden water en buitenwaterstanden zullen nu tijdsafhankelijk bekend moeten zijn. Voor de berekening zal doorgaans gebruik moeten worden gemaakt van computerprogramma's. In tabel 1.1.16 is een overzicht gegeven van deze programma's. Voor niet-stationaire problemen in waterbeheersingsplannen in landinrichtingsprojecten wordt vaak gerekend met het door de Heidemij ontwikkelde programma HYDRA (Bouwknegt, 1978). Het meeste werk om computerprogramma's voor de berekening van waterbeheersingsplannen te kunnen gebruiken, is het in input-vorm gereed maken van de vaak omvangrijke hoeveelheid benodigde gegevens. Daarom is ook de input van gegevens voor het programma HYDRA geheel afgestemd op die voor het programma DIWA, zodat gemakkelijk voor een gebied stationaire en niet-stationaire berekeningen kunnen worden uitgevoerd. Berekening van waterbeheersingsplannen met niet-stationaire stroming zal slechts toegepast worden indien de veranderingen in afvoer, waterstanden en stroomsnelheden in een kort tijdsbestek plaatsvinden. Hierbij zal deze methode doorgaans tot een economischer planontwerp leiden dan bij toepassing van een stationaire berekening in deze situatie. Dit

Tabel 1.1.19. Output van het programma DIWA, met gegevens van berekende kunstwerken.

Landinrichtingsdienst Afd. Waterhuishouding										Kunstwerken					Biz. KW- 1		23 augustus 1988									
Programma DIWA										TYPE: C = ROND TOESTAND :																
Waterlopenplan : RVK PROEFPOLDER										Plannummer : 100 Groeppnummer : 1 TESTBEREKENING										E = Ellips. G = Goed H = Beul. M = Matig Y = Elvorm. S = Slecht VN = Vervanging. R = Rechthoekig.						
Gegevens KUNSTWERKEN bij 100 procent afvoer en een beginpeil van +50 CM t.o.v. N.A.P. BD = Bestaand. MN = Nieuw. VN = Vervanging. R = Rechthoekig.																										
Frequentie van 1.00 keer per 1 jaar.																										
Knw	Knoop- LET TER	punten BOV BEN	Afst M	Debiet in M3/S.	H BOV CM	Soort en Type	Ma- teri- aal	T Bre a edte aal	Hoog te CM	Lengte in M	Bodem CM	Kruin to v NAP.	Aant LU GRO	Weerstands verliezen IN- WRIJVING TREE	UIT- KM KSIW TREE	MU of M	Druk- hoogte in CM	V BD CM of o S. NW	BD T of o 2326							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25		
A	10	20	10	0.346	72	Duik M Beton	1	140	88	22.0	-161		-3 +5	0.95	62	0.00	0.23	0.00	+1.2	38	VN					
A	10	20	10	0.346	60	Duik C Beton	1	60	60	20.0	-130		+16 +5		59											
	3D	100	460	0.367	106																					
B	40	50	10	2.093	130	Duik M Staal	1	360	232	25.0	-114		+89 +15	0.95	39	0.49	0.11	0.80	+1.9	49	NW					
k1	50	80	300	2.106	128	BRUG	Beton					+100	+74						+0.0							
C	60	70	1	0.014	35	Duik C Beton	1	50	50	15.0	-15		+10 +5	0.95	64	0.00	0.31	0.00	+0.1	9	NW					
	60												+15 +5		64											
Ds	80	90	0	2.128		STUW	Beton	1	100			+30														
Ds	80	90	0	2.128	127	STUW	Beton	1	350			-20							1.10	+44.2						
	80					Stuw met VERDIEPING		550				+10							1.10							
k1	100	120	100	2.527	137	BRUG	Beton												+0.0							
k2	100	120	200	2.527	140	Duik M Staal	1	310	224	10.0	-260		+44 +43	0.90	45	0.17	0.22	0.88	+2.8	65	NW					
k3	100	120	250	2.527	138	Duik M Staal	1	285	236	10.0	-260		+60 +41	0.90	45	0.17	0.24	0.87	+3.2	69	NW					
k4	100	120	300	2.527	136	Duik M Staal	1	328	220	10.0	-260		+47 +40	0.90	40	0.22	0.20	0.87	+2.8	65	NW					
k5	100	120	350	2.527	134	Duik M Staal	1	302	205	10.0	-260		+37 +38	0.90	39	0.25	0.24	0.85	+3.7	72	NW					
k6	100	120	450	2.527	132	BRUG	Beton	1	200	150	15.0	-230		+17 +0	0.50	70	0.13	0.36	1.01	+4.5	95	BD G				
k7	100	120	500	2.527	129	Duik M Staal	1	288	273	10.0	-260		+115 +33	0.90	39	0.21	0.23	0.86	+4.0	76	NW					
k8	100	120	600	2.527	127	Duik M Staal	1	289	254	10.0	-260		+105 +60	0.90	42	0.23	0.33	0.82	+7.8	102	NW					
k1	110	120	300	0.034	45	Duik C Beton	1	60	60	20.0	-155		+15 -6	0.95	70	0.78	0.42	0.68	+0.2	15	VN					
k1	110	120	300	0.034	51	Vonder Hout	L=	1.0				-10														
k2	110	120	500	0.034	53	SYPH C Beton	1	60	60	30.0									0.95	70	1.46	0.34				
	110					Van deze syfon bedragen de verliezen van		4																		
k2	110	120	500	0.034	52	Vaste dam																				
Es	130	140	340	0.025	49	STUW	Beton	1	100			-7							1.10	+5.6						
F	140	150	350	0.073	26	Hout	Bodemval																			
F	140	150	350	0.073	26	Duik C Beton	1	60	60	15.0	-130		+35 +5	0.95	62	1.24	0.14	0.65	+5.9	71	BD M					
k1	160	170	250	2.679	145	BRUG	Beton	1	400	300	10.0	-260		+156 +0	0.50	70	0.03	0.13	1.24	+0.8	50	BD G				
	160					Bodembreedte waterloop onder kunstwerk =		175																		
	160					De bovenkant van de houten paalfundering ligt op		-240																		
G	160	170	350	2.679	144	Duik R Beton	2	200	150	27.0	-301		-32 +40	0.50	64	0.52	0.23	0.89	+2.4	61	BD G					
H	170	180	100	2.679		CEMAAL						-120							-170.0							
	170					Vijzelgemaal met een opvoerhoogte van 170 CM																				

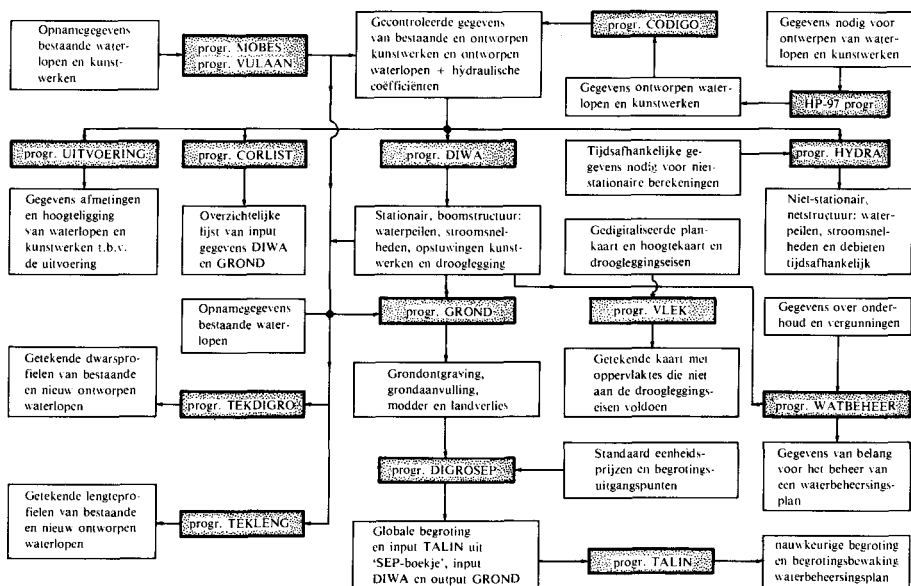
komt doordat bij stationaire stroming geen rekening wordt gehouden met traagheid en berging. Bovendien is het in verband met de korte duur van de top van golfvormige afvoeren dikwijls mogelijk een onderschrijding van de gewenste drooglegging te accepteren.

Naast de afvoerberekeningen zijn er nog tal van problemen waarvan de oplossing met een niet-stationair model kan worden verkregen. Enkele voorbeelden daarvan zijn:

- het bepalen van de variatie in debieten, waterstanden en stroomsnelheden in een water-beheersingsplan ten gevolge van de afvoer van een groot areaal glastuinbouw of van verharde oppervlakten van stedelijke gebieden, riooloverstorten, bergingsvijvers en dergelijke en van de zeer snel op neerslag reagerende gebieden (bijvoorbeeld ten gevolge van oppervlakte-afvoer of smeltende sneeuw). Sommige waterlopen of beken kunnen daarbij kortdurende topafvoeren te verwerken krijgen;

- het vaststellen van de optimale plaats, capaciteit en bediening van een gemaal of uitwateringssluiss. De capaciteit van een gemaal of sluis hangt nauw samen met de bergingscapaciteit in de waterlopen. Tevens kan er een goed inzicht verkregen worden in het afmalen en in het af- en aanslaan van een gemaal. Bij een uitwateringssluiss kan de invloed van eb en vloed worden gesimuleerd;
- het berekenen van een waterlopen- of kanalenstelsel, wanneer een verandering in de open bergingscapaciteit wordt voorzien;
- het opzetten van een beheersmodel voor de waterhuishouding van een gebied. Met zo'n beheersmodel kunnen bijvoorbeeld optimale besturingsprogramma's voor automatische stuwen worden opgesteld. Ook kunnen snel de consequenties van eventuele wijzigingen (bijvoorbeeld door aanleg van nieuwe duikers en waterlopen) in het systeem worden bepaald;
- het onderzoeken van de te verwachten gevolgen bij een kadebreuk;
- het kwantificeren van kwaliteitsproblemen, met name die het gevolg zijn van afvalwater- of koelwaterlozingen, zoals het bepalen van het verloop van de concentratie van in het water opgeloste stoffen of van het temperatuurverloop;
- het berekenen van de invloed van de wind op de waterstanden in een waterbeheersingsplan.

Is de ontwerpberekening van een waterbeheersingsplan gereed, dan worden de hoeveelheden landverlies en grondverzet berekend en een begroting van het plan gemaakt (zie hoofdstuk V.3.2. Begrotingen). Voor de uitvoering van al deze werkzaamheden maakt de Landinrichtingsdienst gebruik van de in figuur 1.1.49 vermelde computerprogramma's (*Doedens e.a.*, 1986). Wordt het plan goedgekeurd, dan kan het door middel van bestekken (zie hoofdstuk V.3.1 Bestekken) worden uitgevoerd.



Figuur 1.1.49. Schema van computerprogramma's die gebruikt worden bij de voorbereiding, uitvoering en beheer van waterbeheersingsplannen in Landinrichtingsprojecten.

1.1.9. Literatuur

André, D. en A.J. Gelok, 1976.

Voorbeeld van de berekening van een waterbeheersingsplan, waarbij gebruik gemaakt is van de computerprogramma's CORLIST, DIWA, GROND en TEKDIGRO.

Cultuurtechnische Dienst, Utrecht.

André, D., 1983.

Handleiding voor het gebruik van computerprogramma's bij de verwerking van opname-gegevens van waterlopen en kunstwerken. Landinrichtingsdienst, Utrecht.

Berg, J.A. van den en G.A. Ven, 1977.

Kwantitatieve aspecten van de afvoer van regenwater in stedelijke gebieden. *H₂O* 10(9): p.200-302.

Bloemen, G.W., 1972.

Berekening van maatgevende afvoeren, onafhankelijk van gemeten afvoeren. *Polytechn. Tijdschr.* 27(19): p.623-631.

Boiten, W., 1977.

Meetoverlaten 1, 2 en 3. *Polytechn. Tijdschr. Bouwkunde, wegen- en waterbouw* 32(5): p.271-282; 32(6): p.343-354 en 32(7): p.406-415.

Bon, J., 1967.

Bepaling van de k_M voor het ontwerpen van leidingen. *Waterschapsbelangen* 52(21): p.321-329.

- Bos, R.J. 1965.
De berekening van verhanglijnen met behulp van een computer. *Cultuurtechn. Tijdschr.* 4(4): p.150-155.
- Bos, W.P. de en C. Bijkerk, 1963.
Een nieuw nomogram voor het berekenen van waterlopen. *Cultuurtechn. Tijdschr.* 3(4): p.149-155.
- Bouwknegt, J., 1978.
HYDRA een computerprogramma voor het berekenen van hydraulische netwerken. Waterschapsdagen 1978 ter gelegenheid van 90 jaar Heidemij.
- Bouwknegt, J. en A.J. Gelok, 1988
Regenduurlijnen voor het ontwerp en beheer van waterbeheersings- en rioleringsprojecten. Heidemij, Arnhem.
- Bouwman, J.E.G. en E. Schultz, 1978.
Berekening van de niet-stationaire stroming in waterlopen in stedelijk en landelijk gebied. *Flevobericht* nr. 127. Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders, Lelystad.
- Buishand, T.A. en C.A. Velds, 1980.
Neerslag en verdamping. K.N.M.I., De Bilt.
- Commissie voor Hydrologisch Onderzoek, TNO, 1986.
Verklarende hydrologische woordenlijst. Serie: Rapporten en nota's no. 16.
- Cultuurtechnische Dienst, 1969.
Provinciale handleiding voor waterbeheersingsobjecten. Rapport nr. 69-39, Noord-Brabant.
- Doedens, G.D.J., A.J. Gelok, W. Hauptmeyer, G. Horst en H. Janssen, 1986.
Automatisering bij landinrichtings- en grondwaterprojecten. *Cultuurtechn. Tijdschr.* 26(2): p.85-107.
- Dijkstra, W. 1978.
De hevelstuw. *Cultuurtechn. Tijdschr.* 18(2): p.105-111.
- Flach, A.J., 1968.
Invloed van de begroeiing op de stromingsweerstand in open waterlopen. *Cultuurtechn. Tijdschr.* 8(5): p.209-216.
- Flach, A.J. en J. Pieters, 1966.
Veranderingen in de wandruwheidsfactor van open waterlopen tijdens het groeiseizoen. Waterschapsbelangen, 51(18): p.257-262 en 51(19): p.273-277.
- Fraanje, M.J., 1972.
Vloeistofmechanica, deel 1, 2 en 3. Agon Elsevier, Amsterdam/Brussel.
- Gelok, A.J., 1969.
Berekening opstuwing duikers. *Cultuurtechn. Tijdschr.* 9(3): p.132-140.
- Gelok, A.J., 1973.
NATOM-tabellen, natte oppervlakte, natte omtrek, hydraulische straal en natte bovenbreedte van verschillende typen rioolbuizen en duikerprofielen.
Cultuurtechnische Dienst, Utrecht.
- Gelok, A.J., 1975.
Wrijvingsverliezen van gegolfd plaatstalen duikers. Cultuurtechnische Dienst, Utrecht.
- Gelok, A.J., 1980.
De relatie tussen opstuwing en kosten van duikers. *Cultuurtechn. Tijdschr.* 20(2): p.67-75.
- Hafner, E., 1979.
Entwurf eines neuen Membranwehres. *Wasser und Boden* 31(5): p.135-137.
- Hartman, G.J.E., 1986.
Handleiding voor het gebruik van HP-97 programma's bij het ontwerpen van waterbeheersingsplannen. Landinrichtingsdienst, Utrecht.
- Hengeveld, H. 1980.
Waterbeheersing in stedelijke gebieden. *Polytechn. Tijdschr., Bouwkunde, wegen- en waterbouw* 35(11): p.648-657.
- Hengeveld, H. en P.H. Schouten, 1982.
Relatie waterschap-gemeente bij stadsuitbreiding. Verstedelijking en waterhuishouding in poldergebieden. *Polytechn. Tijdschr., Civiele techniek*, 37(4): p.21-25.

- Herik, A.G. van den en M.T. Kooistra, 1970.
5-Minuten regens. H_2O 3(21): p.538-544.
- Huisman, L., 1969.
Stromingsweerstand in leidingen. Meded. nr. 14. Keuringsinstituut voor waterleidingartikelen (KIWA).
- Idelcik, J.E., 1960.
Memento des pertes de charge. Eyrolles, editeur Paris.
- International Institute for Land Reclamation and Improvement (ILRI), 1972.
Veldboek voor land- en waterdeskundigen, Wageningen.
- Jager, A.W. de, 1965.
Hoge afvoeren van enige Nederlandse stroomgebieden. Dissertatie. Pudoc, Wageningen.
- Jager, A.W. de, 1968.
Betekenis van het onderhoud voor het ontwerp van open waterlopen. Waterschapsbelangen 53(16): p.214-219.
- Kraijenhoff van de Leur, D.A. en H. Prak, 1979.
Verstedelijking, industrie en zware zomerregens: een verkennende studie. H_2O 12(4): p.75-81.
- Landinrichtingsdienst, 1978.
Beknopt overzicht peilvaststelling in de provincie Noord-Brabant, Landinrichtingsdienst, Noord-Brabant.
- Meijer, Th.J.G.P., C.B. Vreugdenhil and M. de Vries, 1965.
A method of computation for non-stationary flow in open-channel networks. Publication nr. 35. Hydraulics Laboratory, Delft.
- Nortier, J.W. en H. van der Velde, 1980.
Toegepaste vloeistofmechanica, hydraulica voor waterbouwkundigen. Stam.
- Schmidt, M., 1954.
Die berechnung unvollkommener Überfälle. Die Wasserwirtschaft, Heft 4, p. 96-100.
- Schmidt, M., 1957.
Gerinnehydrauliek. Bauverlag GMBH, Wiesbaden.
- Sluis, P. van der en Th. van Egmond, 1976.
De grondwatertrappen op de bodemkaart van Nederland. Polytechn. Tijdschr., Bouw 31(10): p.628-633.
- Slijkoord, F., 1977.
Gevolgen van de verstedelijking met betrekking tot de kwantitatieve aspecten van de afwatering. H_2O 10(17): p.383-386.
- Smaalen, H. van, 1970.
Nieuwe grafieken voor het berekenen van open waterlopen. Nota. Cultuurtechnische Dienst, Utrecht.
- Smit, W.J., 1964.
Het ontwerpen van een waterbeheersingsplan. Cultuurtechn. Tijdschr. 4(2): p.41-77.
- Smit, W.J., 1974.
Ontwikkelingen in de ontwerptechniek van open waterlopenstelsels. Cultuurtechn. Tijdsch. 14(1): p.1-18.
- Straub, L.G. and H.M. Morris, 1950.
Hydraulic Data Comparison of Concrete and Corrugated Metal Culvert Pipes. Technical Paper, nr. 3, series B. St. Anthony Falls Hydraulic Laboratory.
- Studiecommissie Waterbehoefte Land- en Tuinbouw (SWLT), 1980.
Aanvullende watervoorziening van de Land- en Tuinbouw. Landinrichtingsdienst, Utrecht.
- Tap, R. en J.M.A. Mols, 1974.
Prefab-cascade constructies. Cultuurtechn. Tijdschr. 14(4): p.108-114.
- Ven te Chow, 1959.
Open-Channel Hydraulics. New York, Mc. Graw-Hill Book Company, Inc.
- Waterloorkundig Laboratorium, 1964.
Plaatselijke energieverliezen ten gevolge van profielveranderingen. Rapport nr. V 16. Delft.
- Waterloorkundig Laboratorium, 1978.
Hevelstuw Cultuurtechnische Dienst. Verslag modelonderzoek M 1526. Delft.

Werkgroep Afvoerberekeningen, 1979.

Richtlijnen voor het berekenen van afwateringsstelsels in landelijke gebieden. Koninklijk Instituut van Ingenieurs - Koninklijk Genootschap van Landbouwwetenschap.

Werkgroep Onderhoudstechnieken Open Waterlopen, 1976.

Onderhoud en beheer van open waterlopen. Koninklijk Instituut van Ingenieurs - Koninklijk Genootschap van Landbouwwetenschap.

Werkgroep Ontwerptechniek in de Waterhuishouding, 1968.

Ontwerptechnische aspecten van waterbeheersingsplannen. Instit. voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Wageningen.

Werkgroep Waterlopen, 1958

Richtlijnen voor het ontwerpen van open waterlopen en sommige bijbehorende kunstwerken. Van Gorcum, Assen.

Working Group on Small Hydraulic Structures, 1976.

Discharge Measurements Structures. Rapport 4. Landbouw Hogeschool, Wageningen.

1.2. Gemalen

1.2.1. Algemeen

Doel

Een gemaal dient om water van een laag peil naar een hoog peil te brengen. De noodzaak hiertoe kan liggen in wateroverschot aan de lage kant (afvoer) of in waterbehoefte in het gebied aan de hoge kant (aanvoer).

Er kunnen vele redenen zijn om een gemaal te vervangen of te renoveren zoals: gewijzigde eisen bij de peilbeheersing, toename van wateraf-/aanvoerbehoefte, maaiveld daling etc.

Terminologie

Nr.	Term	Omschrijving	Gangbare eenheid	Dimensie	Symbol
1	energie-gebruik	De verbruikte hoeveelheid energie over een bepaalde tijd.	kWh of kJ	$ML^2 T^{-2}$	E
2	garantie-grafieken	De gedeelten van de pompkarakteristiek en verbruikskromme die tussen vastgestelde grenzen door de leverancier van de pompen gegarandeerd moeten worden.	-	-	-
3	capaciteit	De per tijdseenheid verpompte hoeveelheid water.	$m^3 \cdot min^{-1}$ of $m^3 \cdot s^{-1}$	MT^{-1} ($\approx L^3 T^{-1}$)	Q
4	opvoerhoogte	-	m	L	H
4a	manometrische opvoerhoogte	Het verschil in energieniveau tussen zuig- en perszijde van een pomp-waaier in mwk.	m	L	H_{man}
4b	statische opvoerhoogte	Het verschil tussen binnen- en buiten-waterstand gemeten vóór het krooshek en voorbij de terugslapklep.	m	L	H_{stat}
5	pomp-karakteris-tieken	De grafieken die het verband weergeven tussen Q en H_{man} , Q en H_{stat} , Q en η (rendement), Q en P (vermogen), Q en E .	-	-	-
6	vermogen	-	kW of $kJ \cdot s^{-1}$	$ML^2 T^{-3}$	P
6a	opgenomen vermogen	De verbruikte arbeid per seconde, voor elektromotoren in kW, voor dieselmotoren in $kJ \cdot s^{-1}$. In formule voor elektromotoren (drie fasen): $P = V \cdot I \cdot \sqrt{3} \cdot \cos \varphi$ (kW)	kW of $kJ \cdot s^{-1}$	$ML^2 T^{-3}$	P_o

Nr.	Term	Omschrijving	Gangbare eenheid	Dimensie	Symbol
		waarin: V = netspanning in volt I = stroomsterkte in ampère $\cos\varphi$ = arbeidsfactor - het deel van de stroom dat 'in fase' is met de spanning en arbeid kan leveren φ = de hoek van faseverschuiving tussen spanning en stroom			
6b	blind-vermogen (blind-stroom)	Het deel van de totale stroom, dat 90° uit fase is met de spanning en daardoor geen arbeid kan verrichten ($\cos\varphi = 0$). Meestal wordt ook alleen over blindstroom gesproken. Vermogen suggereert immers dat er arbeid zou kunnen worden verricht. Echter het net wordt wel met deze stroom belast en moet dus a.h.w. overgedimensioneerd worden. Bovendien treden in iedere stroomvoerende geleider (warmte)-verliezen op, hetgeen een vorm van verrichte arbeid is en waarvoor in de centrale dus brandstof gestookt moet worden. Om deze redenen stelt het stroomleverend bedrijf eisen aan de arbeidsfactor ($\cos\varphi$) van installaties. Bij de nominale belasting moet $\cos\varphi$ in het algemeen groter dan 0,8 zijn.	kW	$ML^2 T^{-3}$	P_b
6c	nominaal vermogen	De maximale continu leverbare arbeid per seconde aan de uitgaande as van een motor. Dit vermogen staat op het motortypeplaatje vermeld evenals de bijbehorende spanning, stroomsterkte (I_{nom}) en toerental (n_{nom}).	kW	$ML^2 T^{-3}$	P_{nom}
7	rendement	De verhouding tussen afgegeven energie en opgenomen energie (bv. in %). Ieder onderdeel van de installatie heeft zijn eigen rendement, afhankelijk van de belastingstoestand. Dus η_{vijzel} , η_{pomp} , $\eta_{mechanische\ overbrenging}$, η_{motor} .	-	-	η
7a.	motor-rendement	De verhouding tussen het aan de as geleverde vermogen P_{nom} en het opgenomen (elektrisch) vermogen. $\eta_{motor} = P_{nom}/P_o$ Effecten bij lagere belasting dan nominaal: - de faseverschuiving φ neemt toe, zodat $\cos\varphi$ meer naar nul gaat. Bij een onbelaste motor kan $\cos\varphi$ circa 0,3 zijn; - het motorrendement η_{motor} neemt af, zodat per geleverde kW meer energie verbruikt wordt (hoger specifiek energieverbruik).	-	-	η_{motor}

Nr.	Term	Omschrijving	Gangbare eenheid	Dimensie	Symbool
7b	totaal rendement van de installatie	De verhouding tussen de energie van de verplaatste hoeveelheid water over hoogte H_{stat} , ten opzichte van het energieverbruik. Hierin zijn dus behalve de rendementen van de onderdelen, ook de hydraulische verliezen verwerkt van bv. in- en uitstroming, wrijving, krooshek, terugslagklep etc.	-	-	η_{totaal}
8	vermogensmeting	De door de elektriciteits-(kWh)meter geregistreerde vermogensafname stelt het opgenomen vermogen (P_o) voor over een bepaalde tijd. Indien het stroomleverend bedrijf twijfelt aan de $\cos\phi$ van de installatie, kan het besluiten ook een kVAh-meter te plaatsen. De gemiddelde $\cos\phi$ kan dan berekend worden uit: $\cos\phi = \text{kWh-verbruik} / \text{kVAh-verbruik}$. Ook kan men er bij grote installaties toe overgaan om continu de $\cos\phi$ te registreren. Naar aanleiding van deze metingen kan bijbetaling geëist worden.	-	-	-
9	toerental	Het aantal omwentelingen per minuut van bv. motor-, pomp- of vijzelas	omw. $\cdot \text{min}^{-1}$	-	n

Plaatskeuze

De volgende factoren zullen de plaatskeuze van een gemaal sterk beïnvloeden:

- hoogte van het maaiveld en de hellingsrichting daarvan;
- mogelijkheden voor een goede toevoerwaterloop; dat wil zeggen bij pompgemalen over 75 - 200 m voor de instroomopening een rechte waterloop zonder zijwaterlopen;
- bereikbaarheid in verband met bediening en onderhoud;
- draagkracht ondergrond in verband met fundatiekosten;
- afstand tot punt van waar elektrische energie geleverd kan worden;
- de aanwezigheid van nog bruikbare constructies zoals bijvoorbeeld een fundering of een uitlaat duiker/spuisluis voor gedeeltelijk natuurlijke lozing, of als doorvoer voor een persleiding;
- de hoogte van het buitenpeil;
- hinderweteisen;
- landschap en natuur.

1.2.2. Keuze vijzelgemaal of pompgemaal

Om de volgende *voordelen* die een vijzel biedt ten opzichte van pompgemalen zal men een vijzel als opvoerwerktuig prefereren:

- robuuste bouw, laag toerental, weinig slijtage;
- makkelijk inspecteerbaar, weinig hinder van vuil;
- geen leidingverliezen, waardoor vooral bij lage opvoerhoogten (tot ca. 3 m) een hoog totaalrendement te halen is;
- bij lage debieten, veroorzaakt door gedeeltelijke vulling, toch een hoog rendement;
- het rendement wordt niet beïnvloed door een turbulente aanvoer;
- geen schade bij drooglopen;
- ondiepe bouwput mogelijk;
- tamelijk geruisloos.

Nadelen van een vijzel zijn echter:

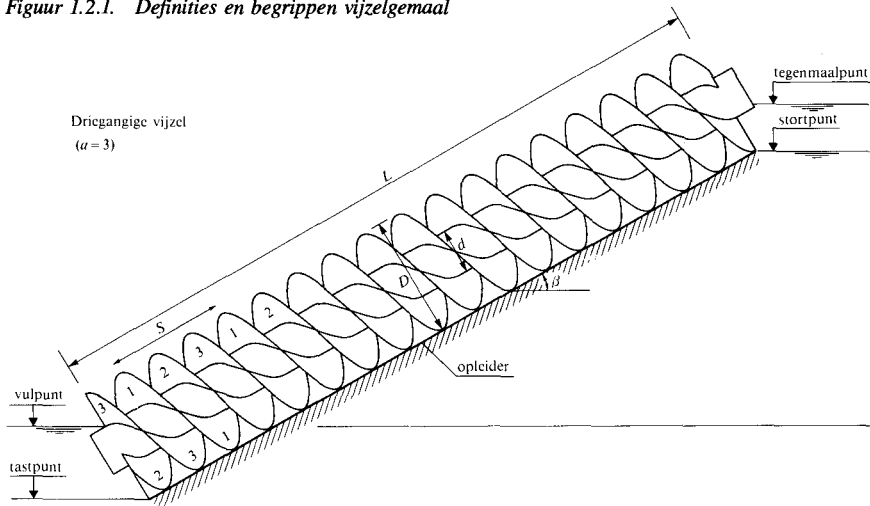
- de buitenwaterstand mag slechts binnen nauwe grenzen variëren. Onder de ondergrens ontstaat daling van het totale rendement, boven de bovengrens eveneens, maar bovendien een hogere mechanische belasting en capaciteitsdaling;
- het binnenpeil heeft eveneens een beperking in variatie. Beneden het zogenaamde "vulpunt" daalt de capaciteit en er boven daalt het rendement;
- geen persleiding mogelijk;
- opvoerhoogte beperkt door de doorbuiging van de vijzel;
- elektro-mechanische investering hoger dan bij andere bemalingsinstallaties;
- hoge aanloopstroomsterkte;
- vastvriezen is mogelijk.

1.2.3. Vijzelgemaal

Definities en begrippen

Begrip/Symbool	Omschrijving
D	: Buitendiameter.
d	: Balkdiameter.
a	: Aantal gangen.
S	: Spoed, afstand tussen twee "golftoppen" van eenzelfde gang.
L	: Lengte.
β	: Opstellingshoek.
Tastpunt	: Laagste punt van de beschoeping.
Vulpunt	: Benedenstrooms peil waarbij de vijzel zijn maximale vulling bereikt.
Opleider	: Goot waardoor het water naar boven geschroefd wordt.
Stortpunt	: Bovenste punt van de opleider, peil tot waar de vijzel waterkerend is.
Tegenmaalpunt	: Bovenstrooms peil waarbij het rendement van de vijzel maximaal is (mits ook de vulling optimaal is). Wordt het bovenpeil hoger, dan begint er water terug te stromen (ofwel: het debiet neemt af).
Overstortende straal	: De fictieve hoogte van het overstortende water gemeten boven het stortpunt. Theoretisch wordt $0,15 D$ aangehouden als minimum. Indien het bovenpeil onder dit niveau daalt, neemt het totaalrendement van de vijzel af.

Figuur 1.2.1. Definities en begrippen vijzelgemaal



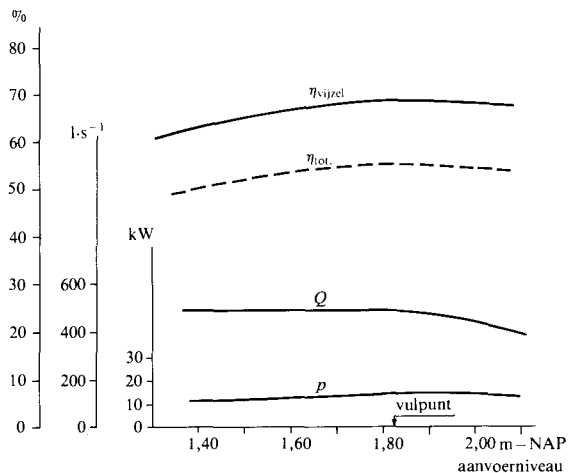
Vijzelkarakteristieken

Figuur 1.2.2 geeft enige karakteristieken van de vijzel weer. Opmerkelijk hierbij is:

- het constante debiet bij een aanvoerniveau boven het vulpunt;
- maximaal rendement op het vulpunt;
- een tamelijk vlakke, redelijk hoge vijzelrendementskromme, gezien de lage opvoerhoogte;
- de grafieken gelden voor één buitenwaterpeil, meestal wordt hiervoor het tegenmaaspunt genomen;
- de elektrische en mechanische verliezen zijn aanmerkelijk (ca. 20%), zie het verschil tussen vijzelrendement en totaalrendement.

Figuur 1.2.2. Vijzelkarakteristieken

Vijzelrendement, totaal rendement, capaciteit en opgenomen vermogen in afhankelijkheid van het aanvoerniveau bij een buiten-waterpeil: 0,15m $\leftarrow$ N.A.P. 5% afwijking voorbehouden.

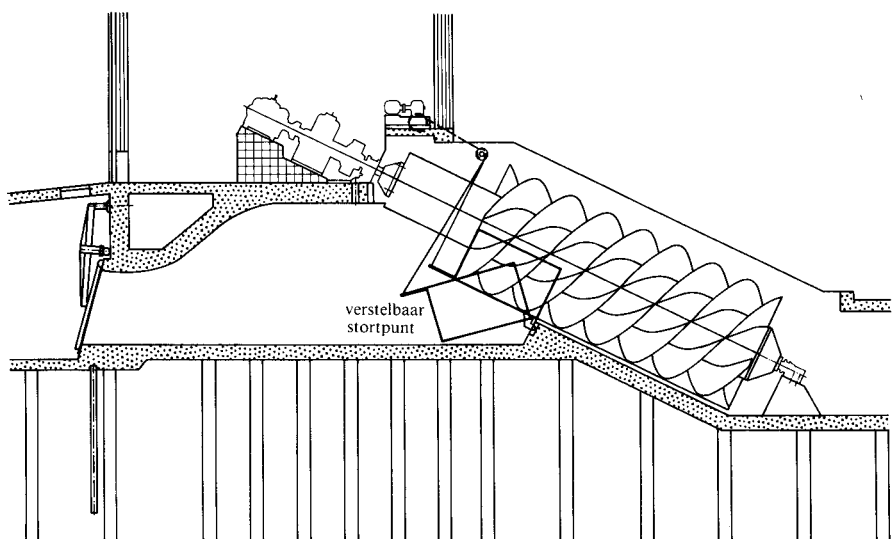


Verstelbare opleider

Om het nadeel van rendementsverlies bij variërende buitenwaterstand op te heffen, is er een mogelijkheid om het stortpunt te variëren door middel van:

- een klepconstructie waardoor er twee stortpunten ingesteld kunnen worden (zie figuur 1.2.3);
- een verschuifbaar bovenstuk aan de opleider waarmee tussen bepaalde grenzen het optimale stortpunt kan worden ingesteld.

Deze constructies zijn echter duur en maken de van origine robuuste vijzel veel kwetsbaarder



Figuur 1.2.3. Vijzel met verstelbare opleider door middel van klep (patent Spaans).

Ontwerp en berekeningen

Het debiet van een 3-gangige vijzel kan berekend worden met de formule van Muysken:

$$Q = E \cdot q \cdot n \cdot D^3$$

waarin:

Q	= debiet	$(\text{m}^3 \cdot \text{min}^{-1})$.
q	= theoretische inhoudsfactor afhankelijk van β , D , d en S .	(m^3)
n	= toerental	$(\text{omw} \cdot \text{min}^{-1})$.
D	= buitendiameter	(m)
E	= correctie factor omdat de gemeten vulling hoger ligt dan de theoretische factor tussen 1,10 en 1,30. Gemiddeld veilige aanname 1,15.	$(-)$

De waarden van q staan in de volgende tabel vermeld.

d/D	$\beta = 22^\circ$		$\beta = 26^\circ$			$\beta = 30^\circ$	
	$S = D$	$S = 1,2 D$	$S = 0,8 D$	$S = D$	$S = 1,2 D$	$S = 0,8 D$	$S = D$
0,3	0,288	0,291	0,238	0,250	0,249	0,214	0,213
0,4	0,304	0,329	0,248	0,276	0,281	0,228	0,236
0,5	0,300	0,330	0,244	0,276	0,298	0,227	0,250
0,6	0,274	0,305	-	0,258	0,284	-	0,237

Ook kan snel een indruk verkregen worden van de benodigde vijzel met behulp van figuur 1.2.4. Nadat Q bepaald is kan een keus gemaakt worden uit diverse mogelijkheden van β , D , d en S .

Voorbeeld:

een vijzel met een D van 90 cm waarbij een toerental hoort van circa 54 omwentelingen per minuut geeft circa $10\text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ indien de opstellingshoek 30° is, de spoed ook 90 cm is ($S = 1D$) en de balkdiameter $0,4 \times 90\text{ cm} = 36\text{ cm}$.

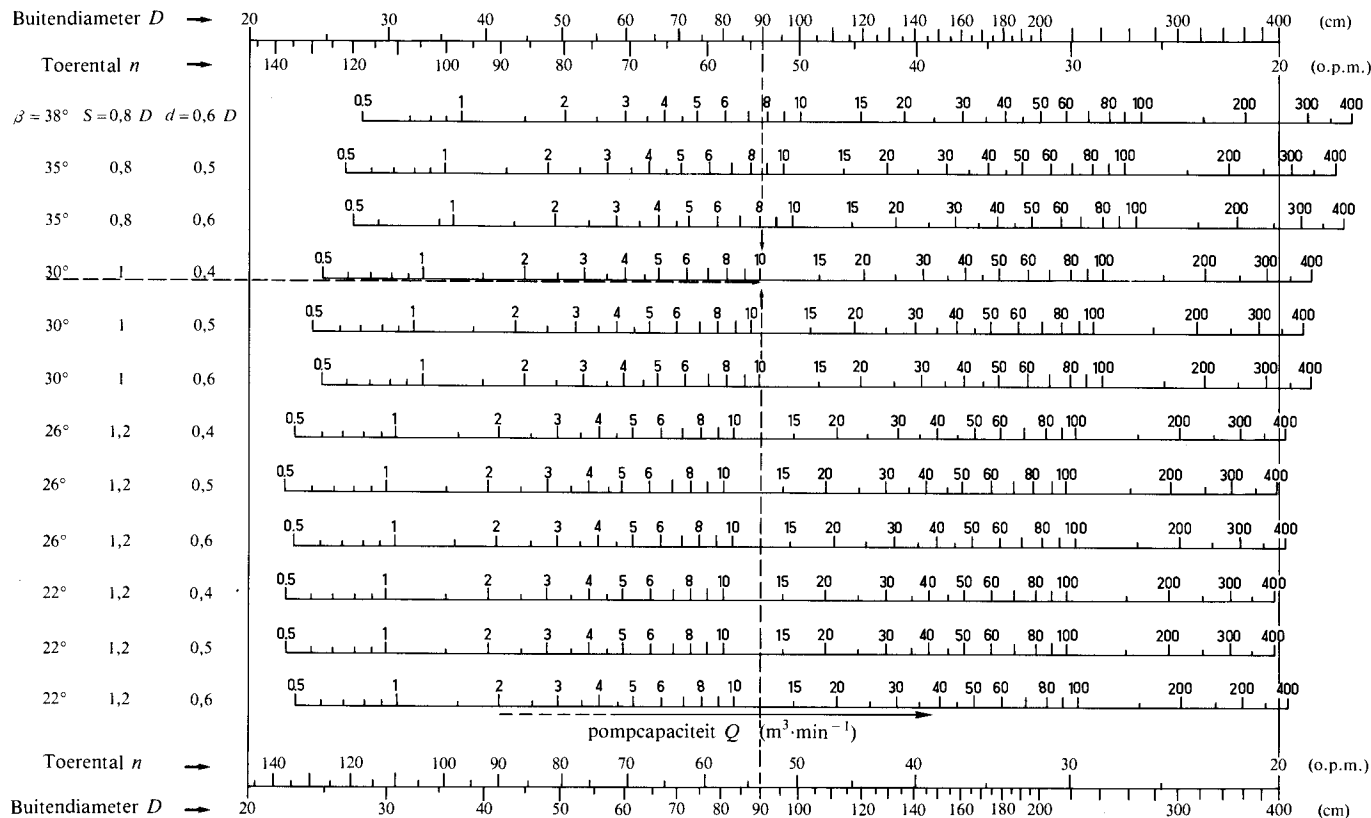
Wat betreft opbrengst zijn de minder hellende vijzels het voordeligst. Echter de langere vijzel veroorzaakt een langere bouwkundige constructie en dergelijke Ook de doorbuiging wordt groter. Daarentegen heeft een steilere vijzel een grotere diameter nodig en dus een bredere constructie.

- De grafieken en formules gelden indien de speling (Sp) tussen vijzel en opleider kleiner is dan:

$$Sp = 0,0045 \sqrt{D} \quad (D \text{ en } Sp \text{ in m})$$

- Het benedenpeil moet circa 10 cm boven het vulpunt liggen.
- Het buitenpeil mag boven het stortpunt maximaal een waarde hebben welke uit de volgende tabel is af te leiden als fractie van D .

d/D	$\beta = 22^\circ$		$\beta = 26^\circ$			$\beta = 30^\circ$	
	$S = D$	$S = 1,2 D$	$S = 0,8 D$	$S = D$	$S = 1,2 D$	$S = 0,8 D$	$S = D$
0,3	0,39	0,33	0,39	0,32	0,26	0,35	0,27
0,4	0,42	0,36	0,43	0,36	0,29	0,37	0,30
0,5	0,47	0,40	0,47	0,40	0,33	0,40	0,33
0,6	0,50	0,43	-	0,43	0,36	-	0,37



Figuur 1.2.4. Selectie-nomogram voor voorlopige afmetingsbepalingen. Pompcapaciteiten in $\text{m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$. Alleen geldig voor 3-gangige vijzels.

- Indien een ander aantal gangen 1 t/m 4 wordt toegepast verhouden de debieten zich als volgt:

$$Q1: Q2: Q3: Q4 = 0,64 : 0,8 : 1 : 1,25$$

- Het maximale (tevens optimale) toerental wordt berekend met:

$$n_{\max} = \frac{50}{\sqrt[3]{D^2}}$$

- Bij hogere toerentallen treedt rendementsverlies op. Bij lagere toerentallen blijft het rendement tot circa 70% van $n_{\max}$ nagenoeg gelijk, maar neemt Q proportioneel af.
- Daar elektromotoren meestal een hoger toerental hebben dan de vijzel is een reductie nodig. De te gebruiken tandwielkast moet geschikt zijn voor gebruik onder helling en voorzien zijn van een terugloopsper. Tussen motor en tandwielkast kan een V-snaar-aandrijving aangebracht worden als transmissieschokbreker. Ook zijn dan redelijk simpel toerental-wijzigingen aan te brengen.
- Zie voor berekening van verliezen door krooshek en terugslagklep, par. V. 1.2.4., Pompgemalen.
- Indien het buitenpeil beneden het stortpunt $+0,15 D$ ligt, moet voor de berekening van de statische opvoerhoogte H_{stat} een punt genomen worden dat $0,15 D$ boven het stortpunt ligt.

1.2.4. Pompgemalen

Definities en begrippen

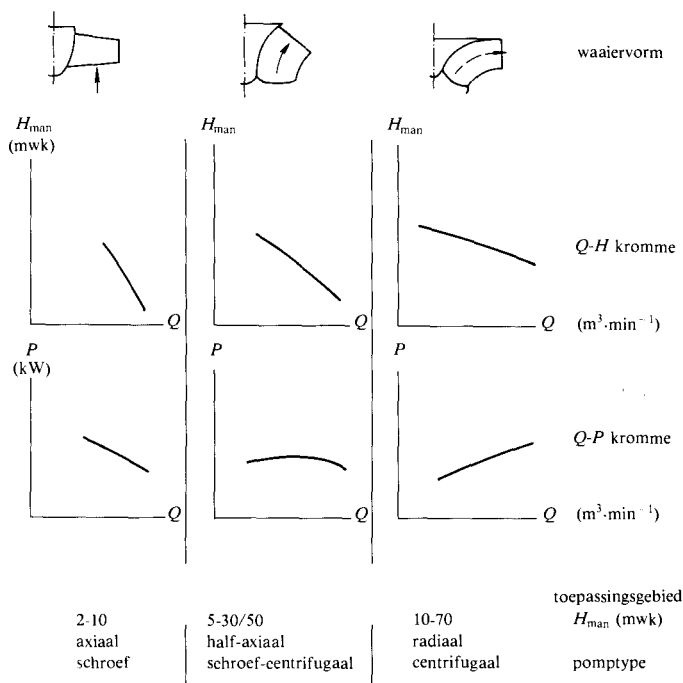
Begrip	Omschrijving
Antirotatieschot	Vlakke plaat in of voor de zuigmond van een pomp, evenwijdig aan de stroomrichting. Heeft tot doel te voorkomen dat het instromende water reeds wervelt bij het binnenstromen van de waaier. Dit veroorzaakt rendementsverlies en verhoogt de kans op lucht aanzuigen.
Dompeldiepte	Afstand tussen binnenwaterpeil en onderkant van een verticale zuigtrechter. Deze maat is afhankelijk van instroomsnelheid en hydraulische vormgeving en moet per situatie bepaald worden ter voorkoming van lucht aanzuigen.
Kavitatie	Het imploderen van dampbellen die door zeer plaatselijke onderdrukken zijn ontstaan. Hierbij kan materiaal uit waaier en pomphuis geërodeerd worden. Er treedt rendementsverlies op en in heviger vorm is kavitatie hoorbaar als ruis tot zelfs een knetterend geluid.
NPSH	Net Positive Suction Head. Het verschil tussen het absolute energieniveau aan de zuigzijde van een pomp en de dampspanning van de verpompte vloeistof. De pompfabrikant geeft de kavitatie-eigenschappen van een pomp in de vorm van een grafiek die het verband tussen Q en de benodigde NPSH weergeeft. Indien de beschikbare NPSH groter is dan de benodigde, zal geen "ontoelaatbare kavitatie" optreden.
Slakkehuis of pomphuis	Het metalen of betonnen omhulsel dat de ruimte omsluit waarin de waaier draait.
Vacuüinstallatie	De installatie die nodig is om de lucht uit een hooggelegen leidingdeel of pomphuis te zuigen en door water te vervangen, zodat hevelwerking wordt verkregen en/of de pomp gestart kan worden.
Waaier	Het ronddraaiende deel van de pomp dat de energie van de as overbrengt op het water.
Zuigkast	De gestroomlijnde toestroombak onder de zuigopening van de pomp ter verbetering van het rendement van de pomp.

Onderverdeling pomptypen

Naar richting waarin het water de waaier verlaat ten opzichte van de pompas wordt de volgende grove indeling gemaakt in:

- schroef- of axiaal pompen;
- schroefcentrifugaal- of halfaxiaalpompen;
- centrifugaal- of radiaalpompen.

De keuze van de te gebruiken pomp hangt vooral af van het te verwachten werkgebied van debiet en opvoerhoogte.



Figuur 1.2.5. Pomptypen - pompkrommes.

Figuur 1.2.5 geeft een idee van waaivorm, de vorm van enige karakteristieken en het gebruiksgebied. Vooral het bij een installatie behorende totaalrendement zal de voorkeur voor een pomptype bepalen. Bij de minst gecompliceerde installaties (vijzel, schroefpomp) zal dit relatief hoog zijn bij lage opvoerhoogten. Schroefcentrifugaalpompen en vooral centrifugaalpompen hebben het hoogste rendement bij grotere opvoerhoogten.

De Q - H -kromme van axiaalpompen verloopt relatief steil zodat bij variërende buitenwaterstanden het debiet constanter is dan bij de andere pompen. Echter bij de laatste is de mogelijke variatie in H groter, zodat ze geschikt zijn voor grote variaties in H_{stat} . Het benodigde vermogen is bij de schroefcentrifugaalpomp het meest stabiel, zodat de gekozen motor in een groot werkgebied goed benut wordt.

De kavitatiegevoeligheid neemt toe van radiaal naar axiaal. Een eenmaal geplaatste axiaalpomp zal dus niet makkelijk gewijzigd kunnen worden door bijvoorbeeld toerentalverhoging, aanstroombestand of iets dergelijks. De gevoeligheid voor verstopping neemt in principe toe van axiaal naar radiaal. Wanneer er echter bij een schroefpomp leidschoepen worden toegepast is ook deze pomp gevoelig.

De noodzaak van toerentalreductie neemt toe naar radiaal.

In de praktijk komt de centrifugaalpomp (radiaal) nauwelijks meer voor in grote gemalen. Bij zeer kleine debieten van bijvoorbeeld onderbemalingen, wordt dit type wel toegepast.

Opstelling van de pomp in het gemaal

De volgende opstellingen zijn mogelijk:

- Open of Gesloten : dat wil zeggen zonder of met persleiding.
- Verticaal of Horizontaal : wat betreft stand van de pompas.
- Droog of Nat : plaats van de motor met pomp boven of onder water.

De eerstgenoemde mogelijkheden zijn eenvoudiger van aard.

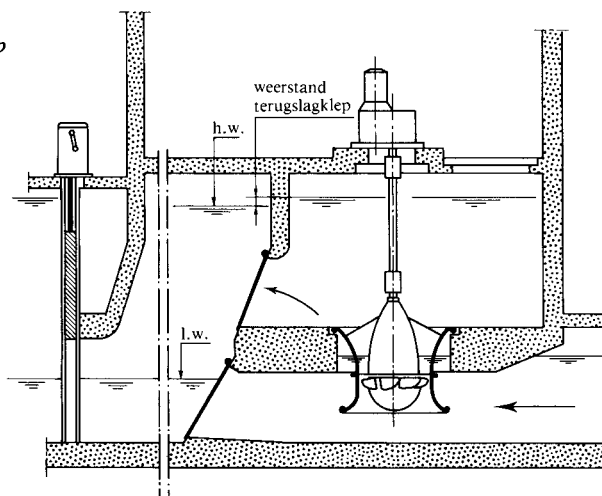
Open schroefpomp

De verticale open schroefpomp is de eenvoudigste vorm van een gemaalpomp (zie figuur 1.2.6). Deze vorm wordt ook in prefab toegepast.

Orde van grootte: tot circa $100 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$.

Figuur 1.2.6.

Open schroefpomp

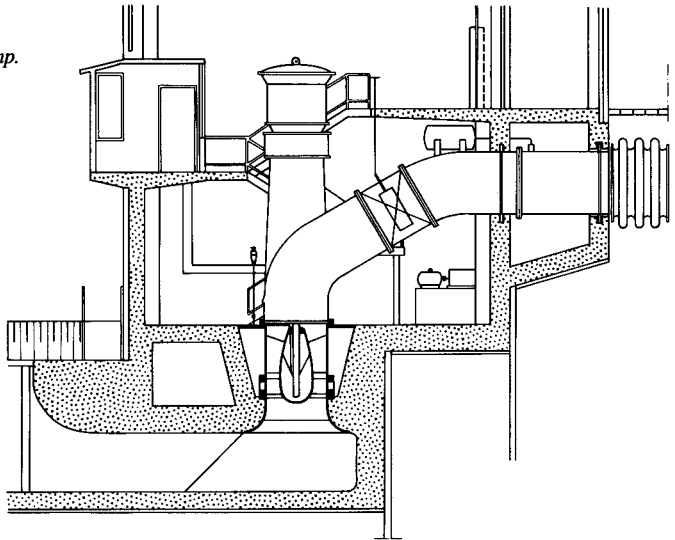


Over het algemeen zal het totaalrendement van een open (ook genoemd: vrij opgehangen) pomp lager zijn dan dat van de gesloten uitvoering. Maar vanwege de eenvoudige constructie kan het een financieel aantrekkelijke oplossing zijn. Dit vooral bij bijvoorbeeld weinig maaluren en lage debieten.

Gesloten schroefpomp

De afvoer van pomp naar buitenwater geschiedt in dit geval via een persleiding. De uitmonding zal uit rendementsoverwegingen onder het buitenwateroppervlak uitkomen zodat de H_{stat} zo klein mogelijk is (zie figuur 1.2.7).

*Figuur 1.2.7.
Verticale gesloten schroefpomp.*

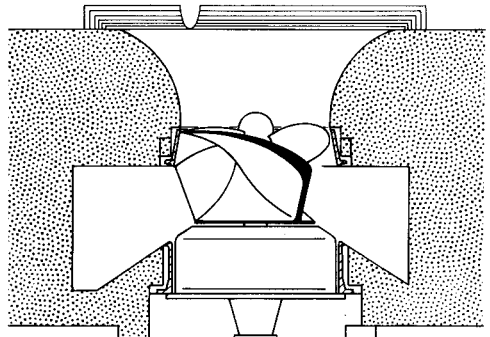


Om terugstromen te voorkomen, is een terugslagklep nodig en bij belangrijke waterkeringen ook nog een extra afsluiter in de vorm van een vlinderklep of schuif.

Open/gesloten schroefcentrifugaalpomp

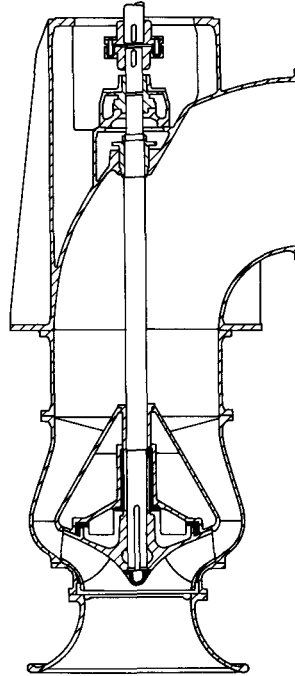
Ook bij de halfaxiaalpompe komt men de term open en gesloten tegen. Aangezien deze pompen alleen noodzakelijk zijn bij grotere H_{man} , en meestal dus voorzien zijn van een persleiding, slaat het open of gesloten op de waaivorm. Het gesloten type heeft net als de centrifugaalpomp al echte kanalen in de waaier, terwijl het open type meer op een schroef lijkt. Het open type (zie figuur 1.2.8) wordt gemaakt voor een H_{man} tot circa 30 mwk, het gesloten type (zie figuur 1.2.9) gaat tot circa 50 mwk.

*Figuur 1.2.8.
Open waaier in betonnen slakkehuis (Stork).*



Het in dit geval betonnen slakkehuis kan geheel ter plaatse gestort worden of gedeeltelijk prefab worden geleverd door de pompleverancier.

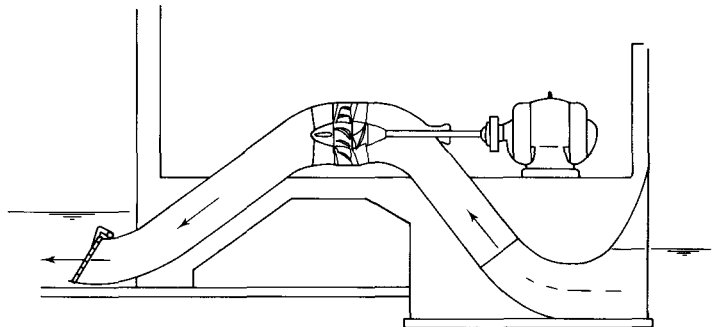
*Figuur 1.2.9.
Gesloten schroefcentrifugaalpomp, waarbij het
water axiaal verder stroomt (Stork).*



Horizontale opstelling

In principe kan van alle pomptypen de as horizontaal en verticaal geplaatst worden. De goedkoopste oplossing is verticaal. Een pomp werd vroeger wel horizontaal geplaatst indien een dijk niet doorgraven mocht worden (figuur 1.2.10).

*Figuur 1.2.10.
Horizontale opstelling.*



Overigens worden tegenwoordig hooggeplaatste pompen nauwelijks meer toegepast, daar er dan meer kans op kavitatie is.

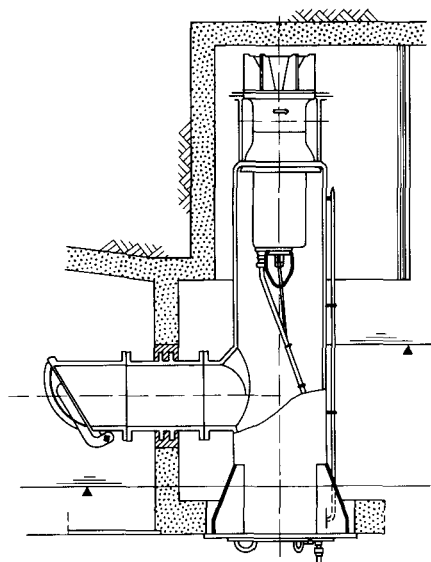
Tegenwoordig worden alleen nog horizontale opstellingen gemaakt indien de totale constructiehoogte beperkt moet blijven. Veelal wordt dan tevens een onderwatermotor toegepast.

Natte opstelling van de motor

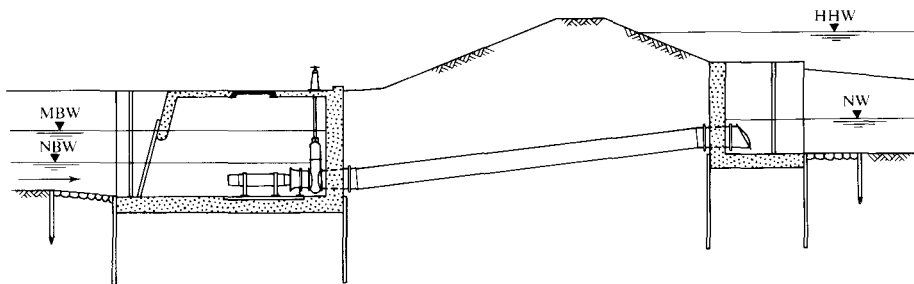
Het is te verwachten dat een droge motoropstelling goedkoper is dan plaatsing onder water. Toch blijkt dat een oplossing van pomp met motor onder water aantrekkelijk kan zijn, vooral door de compacte bouw.

Figuur 1.2.11.

Onderwaterpomp; verticale opstelling (KSB).



Als nadeel wordt vaak de moeilijke inspecteerbaarheid gezien en ook de grotere kans op kortsluiting. Bij sommige fabrikanten kan de pomp met motor boven water gehesen worden zonder dat de hele kelder drooggezet behoeft te worden. Dit stelt wel de nodige eisen aan de hijsinstallatie. In de figuren 1.2.11 en 1.2.12 zijn enkele voorbeelden van dit pomp-type weergegeven.



Figuur 1.2.12. Onderwaterpomp: horizontale opstelling (Pleuger).

Hydraulische verliezen

In deze paragraaf wordt aangegeven welke invloed de constructie heeft op de hydraulische verliezen, die met de statische opvoerhoogte de uiteindelijke manometrische opvoerhoogte bepalen.

Alle verliezen zijn te schrijven in de volgende formulevorm:

$$W = \xi \cdot \frac{v^2}{2g}$$

waarin:

- W = weerstand in m.waterkolom.
- ξ = (ksi) weerstandscoefficiënt.
- v = gemiddelde stroomsnelheid ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$).
- g = $9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ - zwaartekrachtversnelling.

In- en uitstroomvoorzieningen

Om drukverliezen zoveel mogelijk te beperken moet er aan de in- en uitstroomgeleiding van het water de nodige aandacht worden besteed. In het algemeen geldt dat hoe geleidelijker de vernauwingen en verwijdingen van leidingen geschieden, hoe lager het drukverlies en dus hoe hoger het totaalrendement van de installatie.

Rechte toevoerwaterloop

Om het water met zo weinig mogelijk turbulentie bij het gemaal te laten komen wordt vaak aangehouden dat de toevoerwaterloop voor het gemaal over minimaal 75 m en bij voorkeur 200 m recht moet zijn en zonder zijwaterlopen.

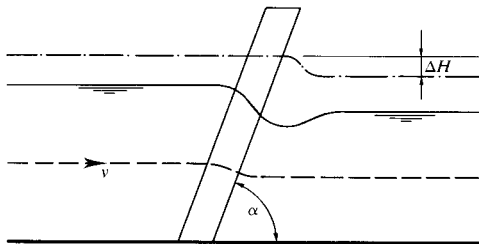
Krooshek

Er zijn enige variabelen in het ontwerp van een krooshek. Zo zal bijvoorbeeld de opening tussen de spijlen afhankelijk zijn van:

- de ontvangende waterbeheerder die eisen stelt aan hoeveelheid en/of afmetingen van door te laten vuil;
- gevoeligheid van het opvoerwerktuig (pomp of vijzel);
- de reinigingsmethode;
- het te verwachten vuil.

Figuur 1.2.13

Hydraulische verliezen van het krooshek.



De hydraulische verliezen van het krooshek kunnen worden berekend met de roosterformule van Kirschmer:

$$W_R = \xi_R \cdot \frac{v^2}{2g}$$

waarin:

$$\xi_R = \beta \cdot \sin \alpha \left(\frac{b}{a} \right)^{1,33}$$

en:

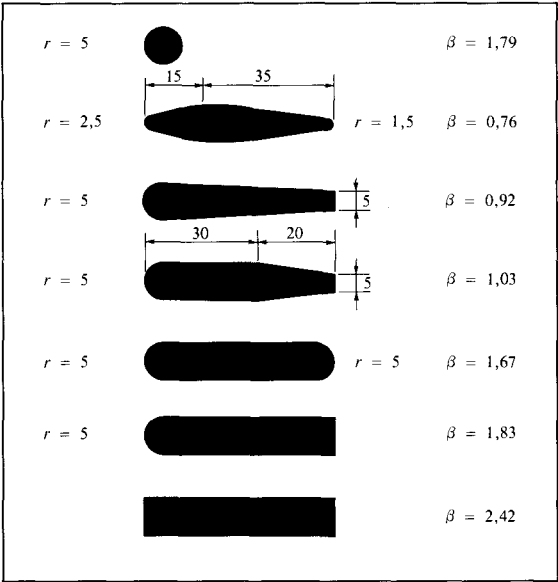
- α = hellingshoek van de staven, (zie figuur 1.2.13).
- b = staafdikte (meestal 16 mm).
- a = dagmaat tussen de staven.
- β = coëfficiënt afhankelijk van vorm en afmeting van de staven.

Voor a kan worden genomen bijvoorbeeld:

- voor pompen : 7 - 10 cm;
- vijzels : 10 - 20 cm.

Hieronder volgen enige waarden voor β voor de door Kirschmer onderzochte staven (zie figuur 1.2.14).

Figuur 1.2.14.
 β -waarden voor verschillende
vormen van krooshekstaven.

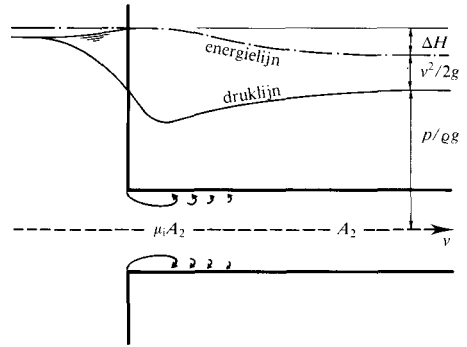


Bij handreiniging wordt vaak een stroomsnelheid toegelaten tussen de spijlen van $0,3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Bij mechanische reiniging kunnen veel hogere waarden worden aangehouden, maar dan wordt eventuele handreiniging in noodgevallen ernstig bemoeilijkt.

Overgang waterloop-instroomkoker

De hier optredende energieverliezen worden weergegeven door de formule:

Figuur 1.2.15.
Energieverlies op de overgang
van waterloop en instroomkoker.



$$W_i = \Delta H_i = \left(\frac{1}{\mu_i} - 1 \right)^2 \cdot \frac{v^2}{2g} \quad (\mu_i = \text{contractie aan intree opening})$$

dus: $\xi_i = \left(\frac{1}{\mu_i} - 1 \right)^2 \quad (\xi_i = \text{entree})$

Figuur 1.2.16.
Waarden voor de contractie
coëfficiënt μ_i en intree
weerstandcoëfficiënt (ξ_i)
bij verschillende vormen
van de instroomkoker.

constructie	μ_i	ξ_i
	rond 0,49 vierkant 0,50 spleetvormig 0,50	1,08 1,00 1,00
	rond 0,59 vierkant 0,60 spleetvormig 0,61	0,48 0,44 0,41
	0,80	0,06
	$\frac{3D + 25R}{5D + 25R}$	$\left(\frac{2D}{3D + 25R} \right)^2$
	$\xi_i = 0,5 + 0,3 \cos \alpha + 0,2 \cos^2 \alpha$	

Hierbij vindt een verlies aan energiehoogte plaats ten gevolge van een verwijding van het gecontraheerde profiel $\mu_1 A_2$ naar A_2 .

Hierin stelt μ dus voor de contractiecoëfficiënt van de opening. Waarden hiervoor zijn er in overvloed in de literatuur te vinden. Ook figuur 1.2.16 geeft een overzicht.

Zuigkelder

Door een juiste vormgeving van de zuigkelder kan er doorgaans aanzienlijk in ruimte en materiaal bespaard worden (zie figuur 1.2.17). De gegevens zijn ontleend aan Stork-Pompen te Hengelo en zijn indicatief. Bij schroefpompen en schroefcentrifugaalpompen is een antirotatieschot onontbeerlijk.

Uitstroomzijde

Ook aan de uitstroomkant van het gemaal treden verliezen op. Zo zal er afhankelijk van de situatie sprake zijn van verliezen door een persleiding, afsluiters en terugslagklep. Ook een open kelder met overstort veroorzaakt energieverlies. Ten slotte kan er nog een stroomspreider noodzakelijk zijn.

Persleiding

Verliezen in leidingen kunnen berekend worden met de formules die in par. V. 1.1.6. over duikers en onderleiders zijn vermeld.

Afsluiters en terugslagkleppen

Globaal kan er voor een vlinderklep een ξ -waarde worden aangehouden van 0,3. Voor terugslagkleppen geven de volgende ξ -waarden enig houvast.

0,2 : voor een doosklep met dubbel scharnier; te gebruiken bij kleine gemalen;

0,4 : voor een doosklep met enkel scharnier;

0,5 : voor een houten klep.

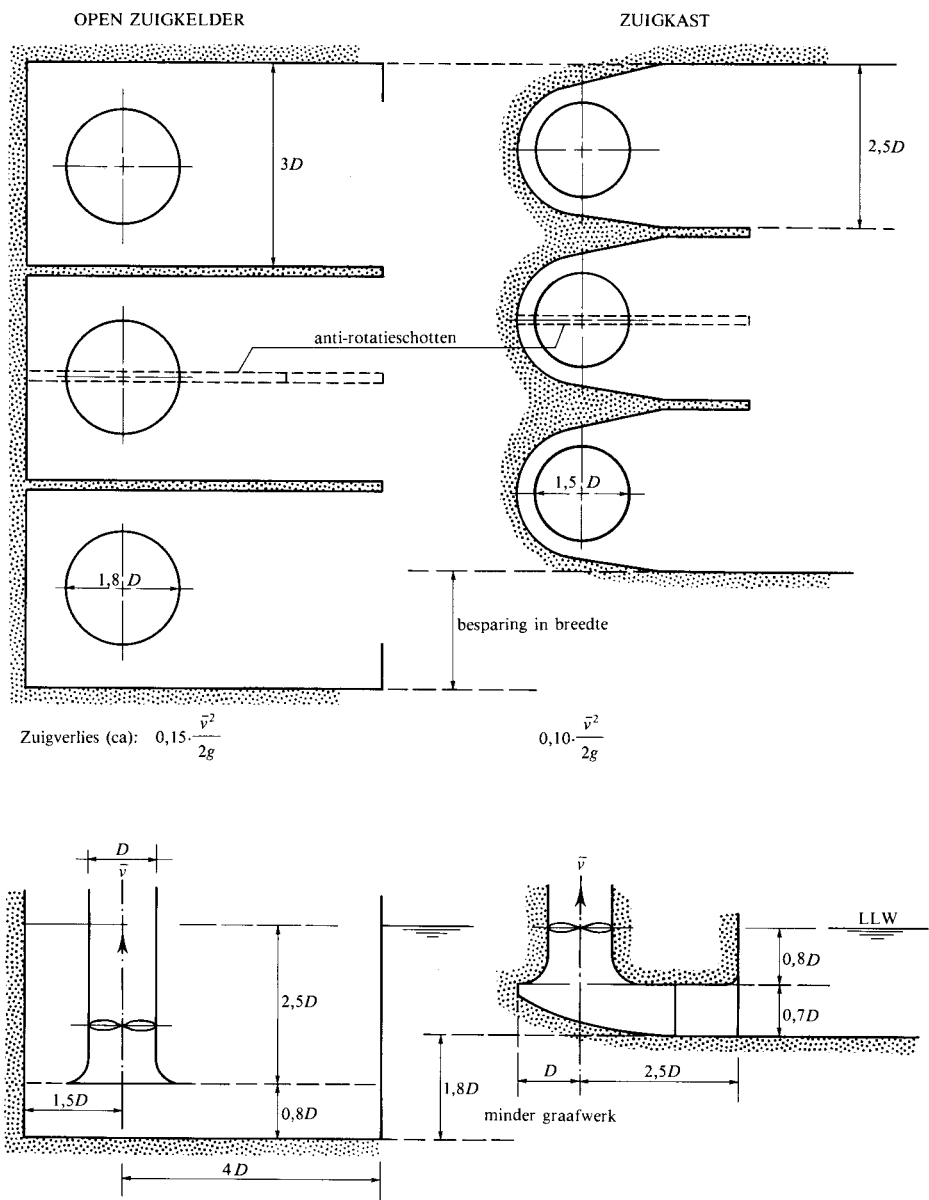
Overgang naar de waterloop

Afhankelijk van de vorm van de uitstroomopening treedt hier een verlies op dat te berekenen is met de formules voor duikers. Over het algemeen is de snelheidsafname zo abrupt dat vrijwel de gehele snelheidsenergiehoogte verloren gaat, zodat:

$$\xi_{\text{uittree}} = 1.$$

Open kelder

De verliezen in een open kelder zijn ongeveer gelijk aan de snelheidshoogte ter plaatse van de waaier. Indien geen terugslagklep wordt toegepast moet bovendien rekening worden gehouden met de hoogte van de overstortende straal boven de overstortrand. Deze is te berekenen met de stuwformules.



Figuur 1.2.17. Vormgeving zuigkelder.

Uitstroomvoorziening

Ten behoeve van scheepvaart of ter bescherming van bodem en oevers van het bovenpand kan het noodzakelijk zijn een voorziening te treffen die de uitstroomsnelheid reduceert en spreidt tot circa $25 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$. Het energieverlies kan weer berekend worden met de krooshekformules gecombineerd met die voor knikverliezen. Meestal blijft het verlies beperkt tot 2 à 3 cm.

Totale verliezen

Het totale energieverlies kan berekend worden door de afzonderlijke verliezen op te tellen, dus:

$$W = \sum \frac{\xi \cdot v^2}{2g}$$

1.2.5. Capaciteit

Capaciteitsbepaling

De capaciteit van een gemaal wordt bepaald door:

- de te bemalen oppervlakte;
- de afvoerfactoren in samenhang met de toe te laten peilstijging en de daarbij behorende kans van optreden;
- de grootte van het gebied en de openwaterberging;
- reserve (bijvoorbeeld 10%) voor toekomstige ontwikkelingen en te verwachten slijtage;
- spertijd, dat wil zeggen perioden van een etmaal dat niet gemalen mag/kan worden;
- maaltstops ten gevolge van te hoog buitenwater.

Capaciteitsverdeling

Aangezien het vrijwel nooit voorkomt dat de aangevoerde hoeveelheid water gelijk is aan de gemaalcapaciteit, zal het peil in de polder variëren door het aan- en afslaan van de pompen. Het is om de volgende redenen wenselijk de gemaalcapaciteit te verdelen of regelbaar te maken:

- de fluctuaties in peil blijven dan beperkt zowel in grootte als in aantal;
- grotere bedrijfszekerheid;
- het aantal keren in- en uitschakelen van elektromotoren is om thermische redenen beperkt.

Een nadeel is dat de investering in de meeste gevallen groter wordt.

Het verdelen en/of regelen van de gemaalcapaciteit kan op de volgende manieren geschieden:

- a. meerdere pomp-motorcombinaties, eventueel met verschillende capaciteiten;
- b. regelbaar toerental (in trappen of continu);
- c. verstelbare schoepen in een schroefpomp.

ad a. De duurste mogelijkheid, zowel bouwkundig als mechanisch. Echter iedere pomp draait met een goed rendement en bij uitval van één eenheid kan toch nog gemalen worden.

ad b. en c. Deze zijn wat betreft investering lager dan a., maar vragen een ingewikkelder regelinstallatie. Vooral bij b. is de kans dat de pomp met een lager rendement draait groter. c. is werktuigkundig ingewikkelder en kwetsbaarder en wordt daarom in de gemalenbouw nauwelijks toegepast.

1.2.6. Opvoerhoogte

De bepaling van de statische opvoerhoogte waarbij een bepaalde capaciteit moet worden gehaald, hangt af van:

- de variatie van binnenpeil tussen aan- en afslagpeil;
- de variatie van de buitenwaterstand en de frequentie van voorkomen;
- het aantal maaluren bij de diverse opvoerhoogten;
- mogelijke toekomstige peilwijzigingen.

Een ontwerp wordt als optimaal beschouwd wanneer de totale jaarlijkse kosten met inbegrip van eventuele schade door tijdelijk te hoge peilen, het laagst zijn. Voor dit onderdeel van het ontwerpproces is, met name bij wisselende buitenwaterstanden, een vrij uitvoerige studie vereist. Zie hiervoor ook de par. V. 1.2.11. Ontwerpberekeningen.

1.2.7. Aandrijving

Voor de aandrijving van nieuw te bouwen gemalen kan gekozen worden uit elektrisch of diesel gedreven motoren. Voor kleine gemalen worden incidenteel ook windmolens gebruikt.

Voordelen elektrische aandrijving:

- lage investering (afhankelijk van kabellengte);
- lange afschrijvingstermijn (40 jaar);
- weinig onderhoud en bediening;
- compact;
- weinig lawaai.

Voordelen dieselmotoren:

- lagere brandstofkosten;
- regelbaar toerental;
- eigen brandstofvoorraad.

Nadelen dieselmotoren:

- zwaardere bouwkundige constructies vereist;
- duur in aanschaf;
- afschrijving 25 jaar.
- meer lawaai.

Voordelen windmolens:

- geen energiekosten.

Nadelen windmolens:

- niet te voorspellen peilbeheer;
- kortere levensduur;
- veel aandacht nodig voor veiligheidsaspecten.

1.2.8. BWO: Wet bescherming waterstaatswerken in oorlogstijd

Deze wet stelt nog enige aanvullende eisen aan bemaling. Daarbij wordt gestreefd naar zodanige maatregelen dat er in tijden zonder elektriciteitsvoorziening toch bemalen kan worden. In deze maatregelen past bijvoorbeeld het installeren van noodstroomaggregaten, de koppeling van elektrisch bemalen gebieden aan dieselmolens in andere gebieden en ook de inschakeling van windmolens.

Daarbij wordt van de volgende globale normstelling uitgegaan:

- afvoerfactor : $3,5 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1} \cdot 100 \text{ ha}^{-1}$ ($0,6 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$)
drooglegging : circa 20 cm
brandstof : voorraad voor 1 jaar

De verantwoordelijkheid voor de uitvoering van deze wet ligt bij Gedeputeerde Staten. De waterschappen dragen zorg voor het onderhoud der installaties. De kosten worden voor 75% gedragen door het Rijk en voor 25% door de provincie, zowel wat betreft investering als ook onderhoud van de installaties.

1.2.9. Bediening

Het in- en uitschakelen van een gemaal kan op verschillende manieren geregeld zijn. Indien hierbij van een microprocessor gebruik wordt gemaakt, zijn zeer complexe regelingen mogelijk. Vroeger was het doel een optimale peilregeling, maar tegenwoordig is automatisering mede gericht op minimalisering van energiekosten.

Enige regelbare grootheden zijn:

- in- en uitschakelpeil;
- maalstop bij te hoog buitenpeil;
- volgorde van te schakelen pompen;

- minimale draaitijd na inschakelen;
- maximaal aantal keren inschakelen per tijdseenheid;
- aparte regeling gedurende tijd met laag stroomtarief;
- capaciteitsregeling afhankelijk van peilverloop.

Automatisering maakt tevens de permanente aanwezigheid van een machinist overbodig. Dit maakt echter een signaleringssysteem noodzakelijk. Er zijn vele onderdelen van een gemaal die een storing kunnen veroorzaken. Deze storingen kunnen bij kleine gemaaltjes gesignaleerd worden door een rode lamp aan de buitenkant, die door waterschapstechnici opgemerkt wordt tijdens een inspectieronde.

Grotere gemalen worden voorzien van een automatische storingsmelder. Er zijn enige mogelijkheden:

- met eigen lijn, via telefoon of draadloos;
- boodschap in pieptonencode of van cassetteband;
- alternatieve meldplaatsen (nummers);
- urgente en minder urgente storingen melden op verschillende tijdstippen.

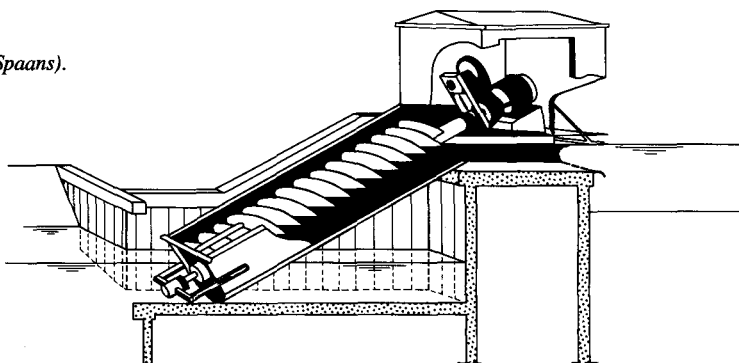
1.2.10. Prefab-gemalen

Hiermee worden bemalingsinstallaties aangeduid, waarbij het mechanische en bouwkundige onderdeel voor het merendeel vooraf in een fabriek worden gemaakt. Daarna kan het gemaal op de bouwplaats worden samengebouwd. Fundatie en damwandschermen worden wel ter plekke gemaakt.

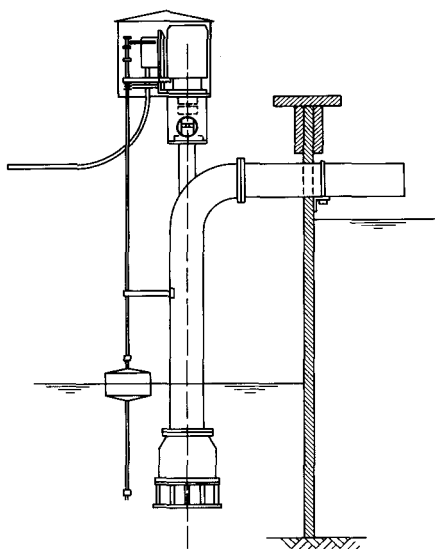
Deze gemalen zijn verkrijgbaar tot capaciteiten van circa $120 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ (zie figuur 1.2.18 t/m 1.2.23).

Meestal bestaat de bovenbouw uit een plaatstalen kast. Bij zeer lichte typen is de damwand tevens fundering. Er zijn ook hier verschillende vormen van automatisering mogelijk.

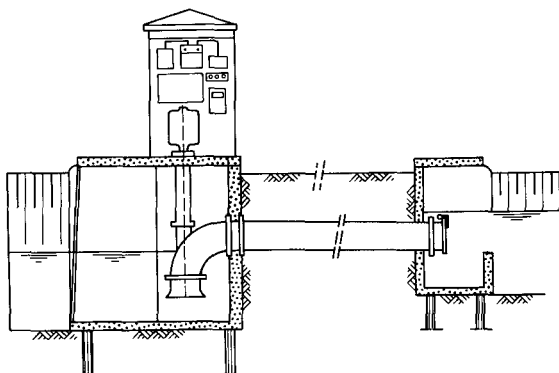
*Figuur 1.2.18.
Prefab vijzelgemaal (Spaans).*



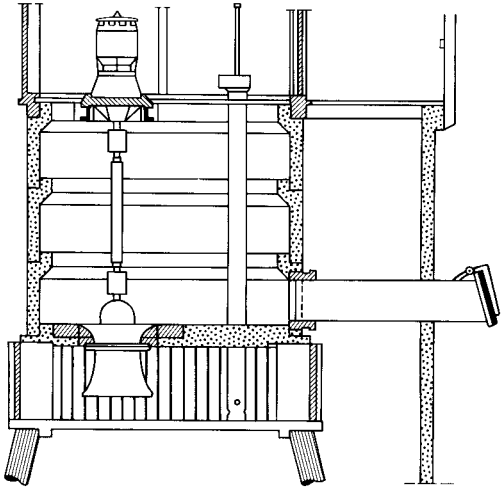
*Figuur 1.2.19.
Prefab gemaalje, systeem Van Voorden
(Type Vopo).*



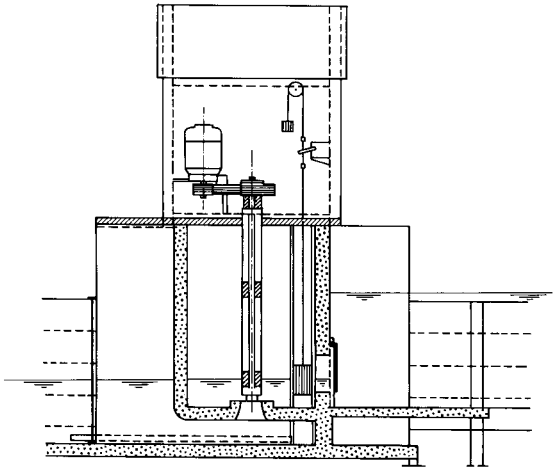
*Figuur 1.2.20
Bemalingsinstallatie met prefab
onderbouw (Bosman).*



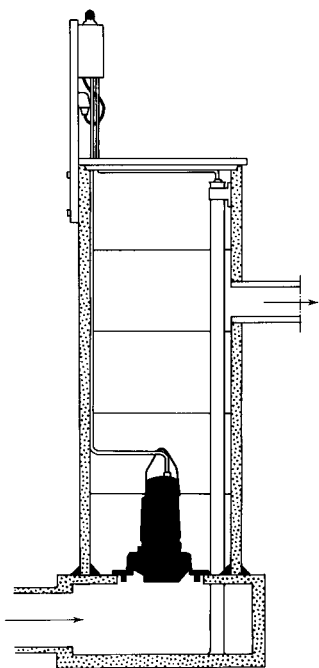
Figuur 1.2.21
Prefab gemaal open schroefpomp
(type Landustrie).



Figuur 1.2.22
Prefab gemaaltype (type Hertog).



Figuur 1.2.23.
Dompelpomp (Flygt).



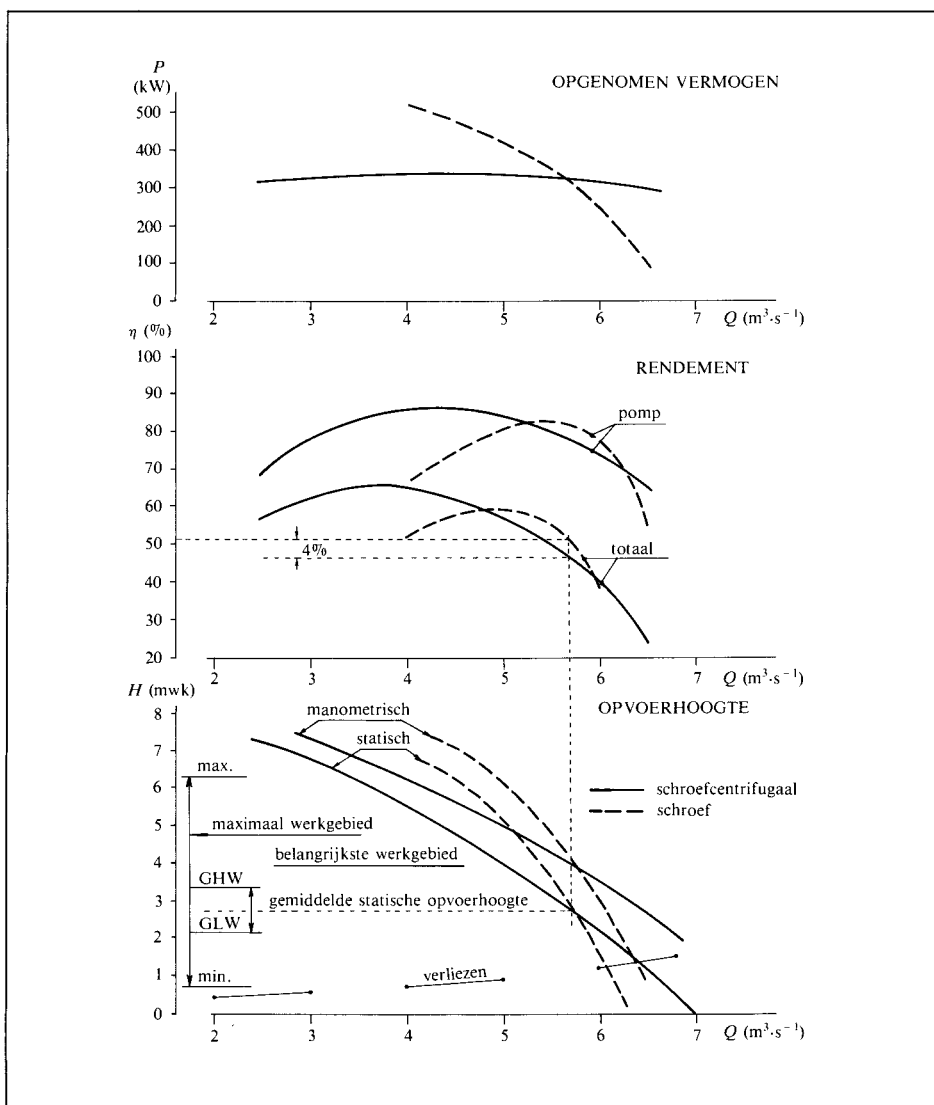
1.2.11. Ontwerpberekeningen

Zoals al in de par. V. 1.2.6. Opvoerhoogte werd gezegd, is de berekening van met name de energiekosten belangrijk bij de keuze van een pomp(set) voor een gemaal. Hiervoor moet het volgende worden geanalyseerd:

- capaciteit met bijbehorende statische opvoerhoogte ter bepaling van het werkgebied van de pomp;
- een berekening van de verliezen afhankelijk van het debiet door de installatie;
- selectie van een aantal geschikte pompen uit gegevens van pompfabrikanten;
- schattingen van verliezen in een eventuele tandwielkast en in de motor.

Een voorbeeld van een dergelijke berekening is weergegeven in figuur 1.2.24. Het betreft de vergelijking van een schroefpomp en een schroefcentrifugaalpomp voor een situatie waarin op een tijrivier wordt uitgemaal. In de onderste grafiek worden eerst de lijnen voor H_{man} (van pompfabriek) en de berekende verliezen tegen Q uitgezet.

Vervolgens wordt voor iedere Q het verlies van H_{man} afgetrokken zodat een lijn ontstaat die het verband tussen Q en H_{stat} weergeeft. Op de H -as kan nu aangegeven worden waar de H_{stat} ligt voor maximum en minimum buitenpeil, en vooral bij GHW en GLW. Er kan nu gecontroleerd worden wat het debiet van de pomp is bij deze H_{stat} .



Figuur 1.2.24. Voorbeeld ontwerpberekening voor een schroefpomp en een schroef-centrifugaalpomp.

Voor al het gebied tussen GLW en GHW is erg belangrijk omdat daar de meeste maaluren verwacht kunnen worden. Het blijkt dat de pompen in dit opzicht gelijkwaardig zijn. De rendementskrommen van de pompen zijn door de pompfabriek opgegeven. Indien globaal van een motorrendement van circa 90% en een overbrengingsrendement van circa 95% wordt uitgegaan zijn nu voldoende gegevens bekend om het verbruik te berekenen volgens:

$$P_o = \frac{Q \cdot H_{\text{man}} \cdot g}{\eta_{\text{pomp}} \cdot \eta_{\text{mech}} \cdot \eta_{\text{motor}}} \quad (\text{kW})$$

waarin:

P_o	= opgenomen vermogen van pomp, overbrengingsmechanisme en motor	(kW)
Q	= debiet	($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)
H_{man}	= manometrische opvoerhoogte	(mwk)
g	= zwaartekrachtversnelling = 9,81	($\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$)
η	= rendementen van de onderdelen	(-)

Doordat het soortelijk gewicht (van water = $1000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$) niet is vermeld heeft P meteen de eenheid kW.

Voor het hele gebied tussen min. en max. kan P worden berekend en worden uitgezet in de bovenste grafiek van figuur 1.2.24.

Totaal rendement

Het totaal rendement van de installatie (η_{totaal}) wordt nu berekend met de formule:

$$\eta_{\text{totaal}} = \frac{Q \cdot H_{\text{stat}}}{P_o}$$

Dit totaalrendement wordt in de middelste grafiek getekend. De installatie kan nu in energietechnisch opzicht beoordeeld worden.

Opvallend is:

- de schroefpomp verbruikt in het belangrijkste werkgebied minder energie dan de andere pomp;
- de schroefcentrifugaalpomp daarentegen heeft een lichtere motor nodig die gelijkmatig belast wordt over het hele werkgebied;
- beide pompen draaien niet of nauwelijks in het maximaal rendementsgebied. Het is de vraag of er niet een pomp gevonden kan worden die dit wel doet;
- de schroefpomp blijft bij stijgend buitenpeil dichter bij het ontwerpdebiet (hier $5,6 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) dan de schroefcentrifugaalpomp.

Energiekosten

Nadat het opgenomen vermogen met de bijbehorende maaluren berekend/geschat zijn, kunnen de energiekosten berekend worden. Ingeval van elektrische bemaling door vermenigvuldiging met de kWh-prijs.

Bij dieselaandrijving moet de η_{motor} uit de formule ter berekening van opgenomen vermogen worden weggelaten zodat een as-vermogen berekend wordt. Daarna kan voor een as-kWh gerekend worden op een verbruik van 225 gram dieselbrandstof. Beter is om aan de motorfabrikant een verbruiksgrafiek te vragen.

1.2.12. Garantiebepalingen en beproeving

Het meten van debiet en energieverbruik van gemalen wordt bij nieuwe gemalen gedaan om de prestaties te vergelijken met de door de leverancier gegarandeerde specificaties. Garanties dienen te worden gegeven door de pompleverancier in de vorm van een grafische weergave van de relatie $Q - H_{\text{stat}}$ en het bijbehorende energieverbruik. Rendement en specifiek verbruik kunnen dan daaruit worden berekend. Oude gemalen worden gemeten om een indruk te krijgen van de capaciteit en de eventueel opgetreden slijtage. De metingen aan op te leveren gemalen (garantie-metingen) gebeuren in het algemeen aan de complete installatie en op basis van H_{stat} , waarin dus alle verliezen van het gehele bouwwerk zijn verdisconteerd. Proefstandmetingen zijn alleen acceptabel bij kleine prefab-gemaaltjes of wanneer een praktijkmeting niet goed mogelijk is. Voor de meetprocedure kan bijvoorbeeld gebruik gemaakt worden van richtlijnen genoemd in ISO-norm 748.

Voor installaties waarbij in de kosten door de Landinrichtingsdienst wordt bijgedragen, gelden toleranties die genoemd worden in het bestek. De toelaatbare speling in debiet en energieverbruik bedraagt dan doorgaans 5% in positieve en negatieve zin. Voor het debiet van installaties kleiner dan $1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ kan een tolerantie van 8% worden aangehouden. Bij grotere afwijkingen kan de pompleverancier tot aanpassing worden verplicht of in geval van te laag rendement kan er een boete voor het hogere energieverbruik worden toegepast.

1.2.13. Krooshekreinigers

Algemeen

Om pompen van gemalen te vrijwaren van drijvend vuil en dergelijke, teneinde te voorkomen dat vervuiling dan wel beschadiging van de pomp optreedt, worden krooshekken geplaatst.

Het drijvend vuil waarvan de samenstelling en hoeveelheid sterk afhankelijk is van het soort gebied, dient regelmatig verwijderd te worden. Dit verwijderen wordt veelal in handkracht uitgevoerd. Teneinde deze arbeidsintensieve en onaangename werkzaamheden te mechaniseren en vervolgens te automatiseren, worden sinds een aantal jaren krooshekreinigers geïnstalleerd met name bij volautomatische gemalen, waarbij opgemerkt wordt dat pompgemalen in het algemeen gevoeliger zijn voor verontreinigingen dan vijzelgemalen.

Typen krooshekreinigers

De meest gangbare krooshekreinigers kunnen naar de wijze waarop zij het "kroos" uit het water halen en transporteren naar de stortplaats, worden ondergebracht in de drie navolgende typen, werkend volgens:

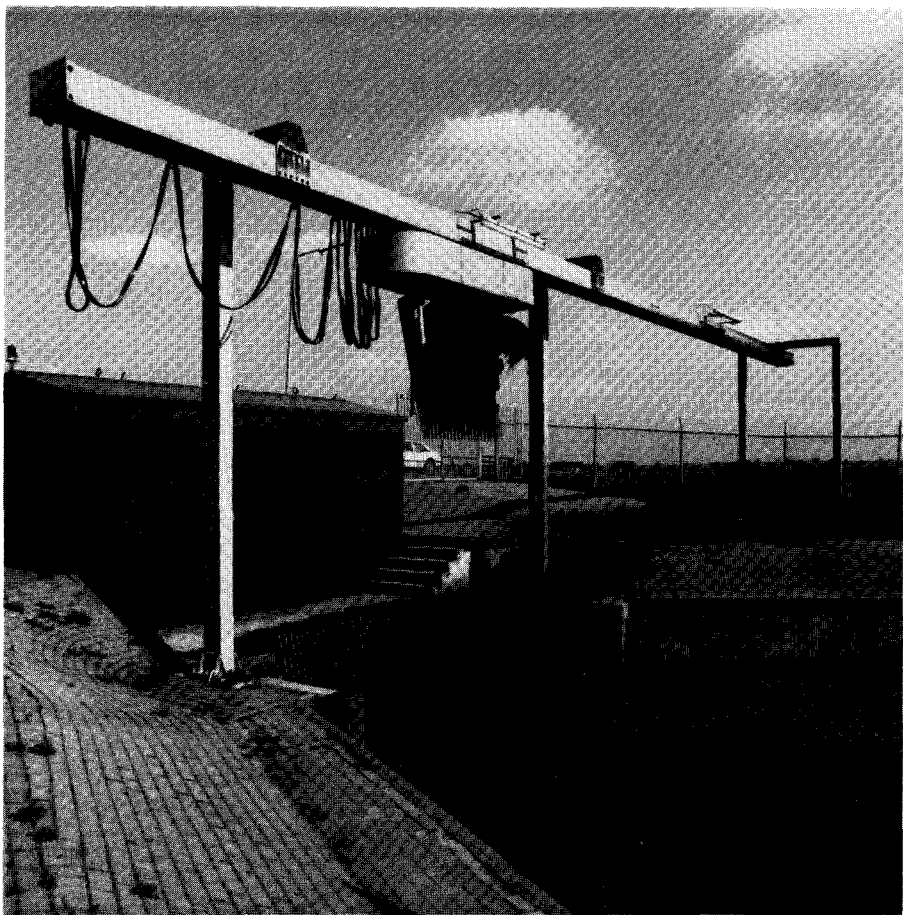
- a. het grijperprincipe (figuur 1.2.25);
- b. het harkprincipe (figuur 1.2.26);
- c. het vingerbalkprincipe (figuur 1.2.27).

Korte omschrijving van de werking

Grijperreinigers

De grijperkrooshekreiniger (figuur 1.2.25) bestaat uit een aan portalen bevestigde rijbaan, waarlangs de rijwagen met grijper zich kan bewegen. De wagen is voorzien van een rijmotor en hijsinrichting voor de grijper. De werking is als volgt:

De geopende grijper zakt door eigen gewicht langs het krooshek naar beneden en neemt daarbij het kroos mee. Onderaan het krooshek sluit de grijper zich. Vervolgens wordt de gevulde grijper opgehaald middels een in de rijwagen bevestigde hijsinrichting. De rijwagen brengt de grijper langs de rijbaan naar de stortplaats. Hier wordt de grijper geopend. Vervolgens rijdt de rijwagen met de grijper terug en wordt de cyclus weer herhaald voor het volgende deel van het krooshek.



Figuur 1.2.25. Grijperreiniger (Landustrie).

De grijpperreiniger heeft de navolgende voordelen:

- alle onderdelen van de reiniger bevinden zich boven water;
- bij brede en/of meerdere krooshekken is slechts één grijper nodig;
- het vuil wordt direct op de juiste plaats gestort en kan eventueel op meerdere plaatsen worden gestort;
- het kroosbordes blijft onbezet; eventueel kan nog met de hand worden gekroosd.

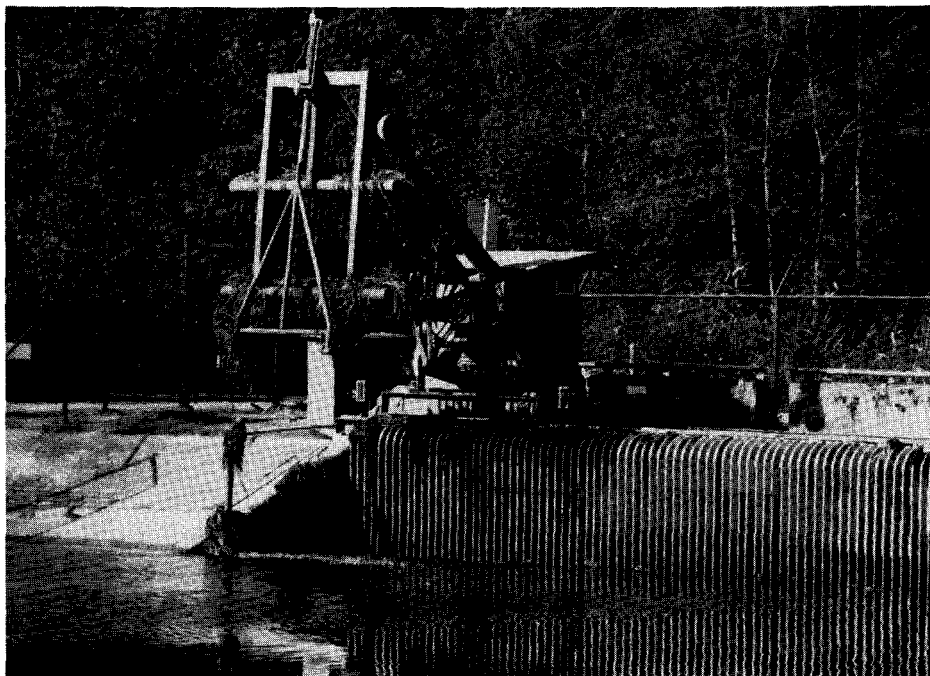
Als nadelen kunnen worden aangehaald:

- esthetisch gezien is deze reiniger in het nadeel ten opzichte van sommige vingerbalkreinigers;
- de installatie is windgevoelig;
- de besturing is relatief gecompliceerd;
- voor reiniging van een breder krooshek zijn meerdere reinigingsgangen nodig.

Harkreinigers

De harkkrooshekreiniger (figuur 1.2.26) brengt een hark middels een stangenmechanisme en hydraulische cilinders onder in het krooshek, waarna deze wordt opgehaald. Boven water gekomen wordt de hark van het krooshek gelost. De hark wordt met een rijwagen over een rijbaan naar de stortplaats gereden en aldaar geleidigd.

Bij een andere uitvoering wordt de hark middels een draaiconstructie van het krooshek weg gedraaid naar een stortplaats.

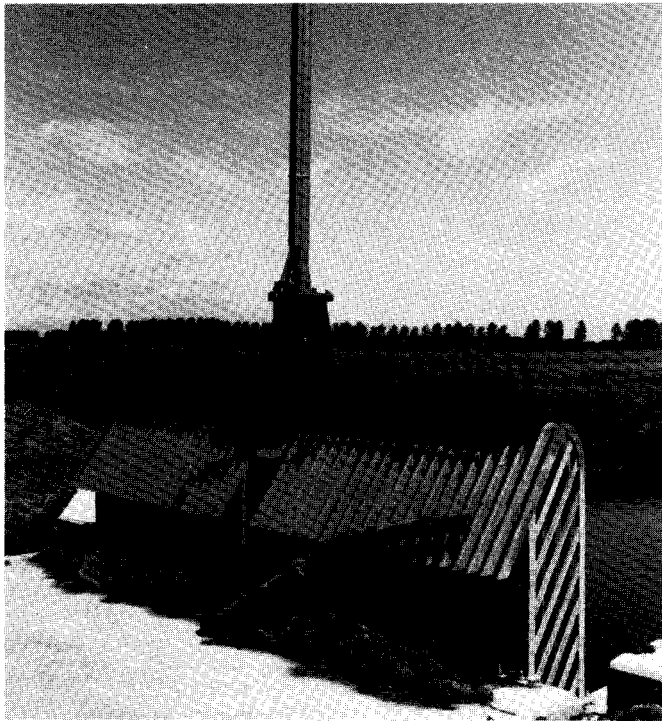


Figuur 1.2.26. Harkreiniger (Spaans).

De voor- en nadelen van dit type reiniger zijn in het algemeen dezelfde als bij de grijper-krooshekreiniger. De constructie en de werking is ingewikkelder dan bij de grijper-reiniger.

Vingerbalkreiniger

De diverse fabrikaten die zich in hoofdzaak onderscheiden van elkaar door hun wijze van aandrijving, hebben met elkaar gemeen dat een draaibare balk met vingers zich over de volle breedte van het krooshek in op- of neerwaartse richting beweegt (figuur 1.2.27). De vingers worden vanaf de pompzijde door het krooshek gestoken. Tijdens de opwaartse gang van de cyclus maken de vingers een hoek van circa 85° met het krooshek, terwijl ze zich tijdens de neerwaartse gang aan de pompzijde in een vlak evenwijdig aan het krooshek bevinden. Bovenaan het krooshek gekomen maakt de vingerbalk een kantelbeweging, waardoor het "kroos" langs de neerwaarts gebogen krooshekstaven naar de kroosvloer c.q. een op de kroosvloer opgestelde transportinrichting wordt geduwd. Geleidingen zorgen ervoor, dat de vingerbalk met de vingers in de gewenste stand achter het krooshek komt.



Figuur 1.2.27. Vingerbalkreiniger (Bosman).

Daar het vuil direct naast het krooshek op de kroosvloer wordt gestort, zal - ter vermijding van een opeenhoping van vuil - horizontaal transport voor de afvoer van het kroos noodzakelijk zijn. In het algemeen wordt hiervoor een transportband, dan wel een spoelgoot met ontvangput gebruikt.

De voordelen van dit type reiniger moeten worden gezocht in:

- de eenvoud van constructie en wijze van werken;
- de min of meer continue reiniging van het krooshek over de volle breedte.

Enkele nadelen zijn:

- het kroos kan tijdens de kantelbeweging van de vingerbalk op het hoogste punt aan de krooshekstaven blijven kleven en zodoende storingen veroorzaken;
- er bevinden zich meer of minder belangrijke delen onder water;
- bij defect zijn van de reiniger is kroos met de hand moeilijk door aanwezigheid van een transportband en een hoog krooshek;
- de toelaatbare hoogte van het krooshek wordt beperkt doordat de krooshekstaven onderling niet kunnen worden verbonden, waardoor een slappe constructie zou ontstaan;
- maximale breedte van het krooshek bedraagt circa 4 meter;
- grote voorwerpen zullen door de beperkte lengte van de vingers buiten het krooshek niet worden verwijderd.

Automatisering

Een aantal factoren bepalen de noodzaak of wens tot automatisering. Enkele daarvan zijn:

- de aard en hoeveelheid van het aangevoerde kroos;
- de plaats van het gemaal;
- de beschikbaarheid van bedienend personeel;
- de grootte van het gemaal;
- het al dan niet automatisch zijn van het gemaal;
- de meerkosten voor het automatiseren;
- de betrouwbaarheid van de geautomatiseerde reiniger.

Het verdient aanbeveling de automatisering niet verder door te voeren dan de situatie vraagt.

Voor het automatisch in bedrijf komen van een krooshekreiniger wordt van de volgende startimpulsen gebruik gemaakt.

- a. Een startknop in of nabij het gemaal.

Hierbij wordt het gehele krooshek volledig gereinigd en de reiniger keert terug in ruststand of stopt na een vast ingestelde tijd, of bij het weer omdraaien van de startknop.

- b. Niveauschakelapparatuur.

Hierbij treedt de krooshekreiniger in werking nadat door een bepaalde vervuiling van het krooshek een ingesteld niveauverschil over het krooshek wordt bereikt. De reiniger stopt na een volledige reinigingsgang of na een bepaalde tijd.

c. Een programmaschakeling.

Onafhankelijk van de aangevoerde krooshoeveelheid komt de reiniger in werking middels een schakelklok. Een andere mogelijkheid is de reiniger synchroon met de pompen te laten werken.

Samenvatting

- Voor een gemaal met instroomkanalen die vier meter of breder zijn, of bij gemalen met meer dan twee brede instroomkanalen, is een grijpperreiniger technisch en financieel gezien een optimale oplossing.
- Voor gemalen met twee instroomkanalen van middelmatige breedte (2 tot 4 meter) komen zowel de vingerbalkreinigers als de grijpperreinigers in aanmerking. De wijze van kroosafvoer (al of niet met transportband) is een belangrijk aspect voor de kostprijs van een vingerbalkinstallatie.
- Voor gemalen met één, niet al te breed instroomkanaal, komen zowel de vingerbalkreinigers als de harkreinigers met vaste opstelling in aanmerking.

1.3. Stuwen in waterbeheersingsplannen

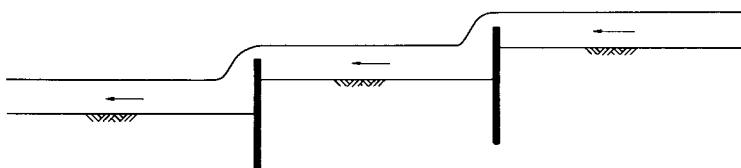
1.3.1. Onderverdeling van stuwen naar functie

Een van de vele manieren om de stuwen in groepen in te delen, is de indeling naar de functie. Naar dat aspect ingedeeld kunnen de volgende stuwtypen worden onderscheiden.

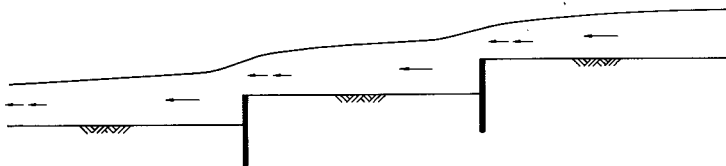
Technische stuw

Er is sprake van een technische stuw als deze noodzakelijk is om ongewenste hoge stroomsnelheden in de waterloop te voorkomen. Voor kritische stroomsnelheden van verschillende grondsoorten in Nederland kan worden verwezen naar par. V. 1.1.4. Door de bouw van een stuw wordt het waterverhang kleiner, waardoor de stroomsnelheid afneemt.

Indien er geen behoefte bestaat om water op een hoog peil vast te houden, kan volstaan worden met het bouwen van vaste stuwen c.q. bodemvallen (fig. 1.3.1 en 1.3.2).



Figuur 1.3.1. Vaste stuwen.

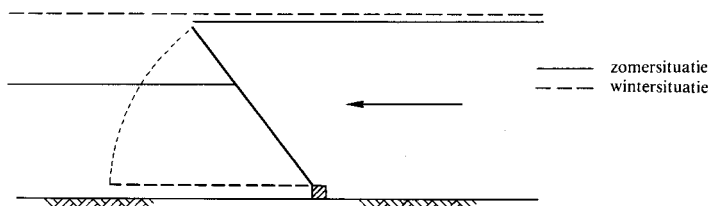


Figuur 1.3.2. Bodenvallen.

Zoals uit de schetstekeningen blijkt, kan bij de bouw van bodemvallen, vooral bij kleine waterdiepten, de kritische stroomsnelheid bovenstrooms van de bodemval worden overschreden, waardoor bodemerosie kan optreden.

Landbouwkundige stuw

Indien er behoefte bestaat om de waterstand in de waterloop ten behoeve van de landbouw op een bepaald peil te houden, kan een stuw daarvoor het aangewezen middel zijn. We spreken dan van een landbouwkundige stuw. Omdat in de zomerperiode vaak een ander peil wordt gewenst dan in de winterperiode, zullen de meeste landbouwkundige stuwen regelbaar moeten zijn. Veelal zal aan een technische stuw tevens een landbouwkundige functie worden gegeven (fig. 1.3.3).



Figuur 1.3.3. Landbouwkundige stuw.

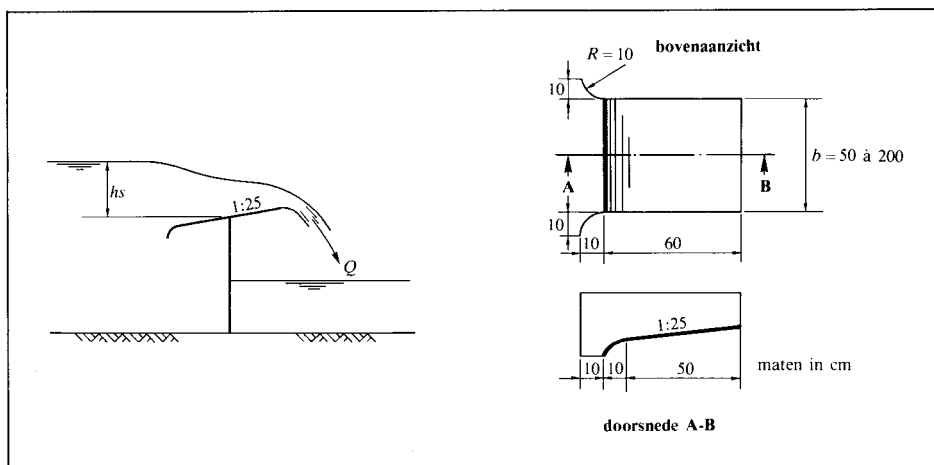
Meetstuwen

Bij het transport en de verdeling van water is de hoeveelheidsmeting een belangrijk aspect. Een van de middelen om debieten te meten in open waterlopen is de meetstuw. Meetstuwen worden onderscheiden in niet-gestandaardiseerde stuwen en gestandaardiseerde stuwen. De relatie tussen de hoogte van de overstortende straal en de afvoer van de eerste categorie wordt verkregen door ijking in het veld of door middel van modelonderzoek. De gestandaardiseerde stuwen hebben een bekende afvoerrelatie. De bekendste typen zijn de Romijn-Vlugter-, de Thomson-, de Bos-, de Cipoletti-(fig. 1.3.4, 1.3.5 en 1.3.6) en de Hobrad-stuw. Deze meetstuwen kunnen zowel met een vaste als met een beweegbare kruin worden uitgevoerd. Voor wat betreft de hydraulische aspecten van meetstuwen wordt verwezen naar par. V. 1.1.7.

De Romijn-overlaat

Deze regelbare meetstuw werd door Romijn ontwikkeld en verbeterd door Vlugter. Een voorbeeld van een brede overlaat, rechthoekig van vorm en geen zijdelingse contractie. De afvoerformule luidt bij benadering:

$$Q = 1,71 \cdot b \cdot h s^{3/2}$$

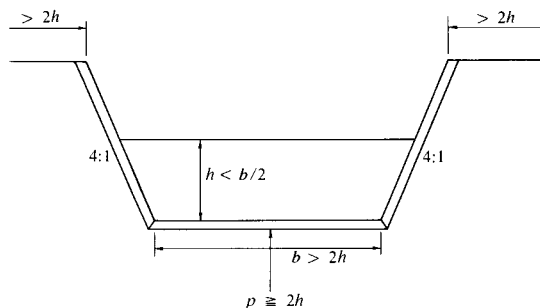


Figuur 1.3.4. Principe Romijnstuw.

Het Cipoletti meetschot

De zijanten van de opening hellen naar buiten onder 4 (verticaal) op 1 (horizontaal). Hierdoor neemt de waterspiegelbreedte toe bij groter wordende overstorthoogte. De bedoeling van Cipoletti was om hiermede de tegelijkertijd toenemende zijdelingse contractie te compenseren, zodat voor dit type geldt (bij benadering):

$$Q = 1,86 \cdot b \cdot h s^{3/2}$$

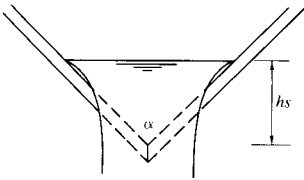


Figuur 1.3.5. Principe Cipoletti meetschot.

Het Thomson meetschot

De opening is een gelijkbenige driehoek waarvan de waterspiegel de basis vormt. Dit meetschot is zeer geschikt wanneer men ook kleine debieten met goede nauwkeurigheid wil meten en wanneer men een voldoende verval beschikbaar heeft. Het meetschot is een scherpe overlaat met zijdelingse contractie. Voor dit type stuw geldt bij benadering:

$$Q = 1,38 \, h s^2,^{48} \text{ voor } \alpha = 90.$$



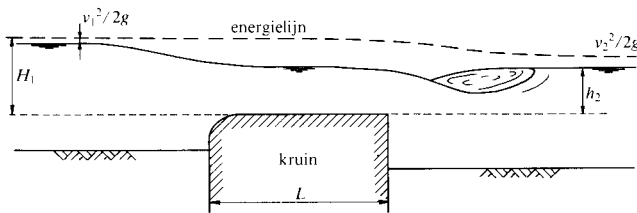
Figuur 1.3.6. Principe Thomson meeshow.

1.3.2. Onderverdeling van stuwen naar kruinvorm

Naar de kruinvorm, gezien in de lengterichting van de waterloop, kunnen de volgende stuwtypen worden onderscheiden.

De lange overlaat

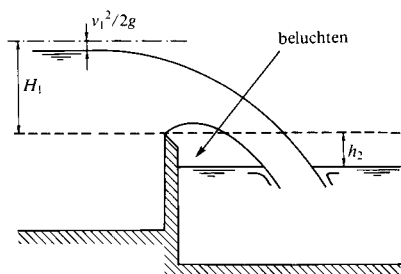
Bij lange overlaten is de lengte van de kruin L ten minste $1,75 \times$ de maximale overstort-hoogte H_1 (fig. 1.3.7).



Figuur 1.3.7. Lange overlaat.

De scherpe overlaat

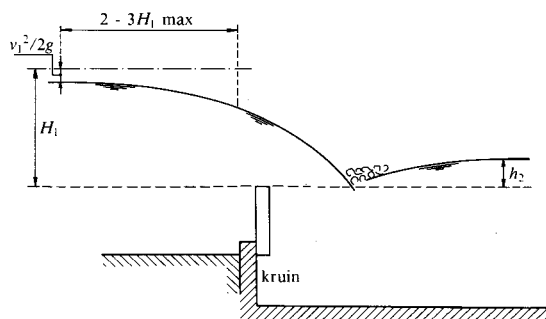
Bij scherpe overlaten is de kruin slechts 1 à 2 mm lang. De onderkant van de straal laat los op de kruin. De overstortende straal moet worden belucht (fig. 1.3.8).



Figuur 1.3.8. Scherpe overlaat.

De korte overlaat

De korte overlaten liggen in het overgangsgebied tussen de lange en de scherpe overlaten. De meeste moeten worden belucht (fig. 1.3.9)



Figuur 1.3.9. Korte overlaat.

In de praktijk is er bij klepstuwen sprake van een lange overlaat als de klep min of meer horizontaal ligt, overgaand in een korte overlaat bij een maximale klepstand van 60° met de horizontaal. Bij stuwen met een schuif of bij vaste stuwen is er meestal sprake van een korte overlaat.

Het onderscheid tussen bovengenoemde kruinvormen is van belang vanwege de toepassing van verschillende afvoercoëfficiënten en de mate waarin er sprake is van beïnvloeding van de bovenwaterstand door de benedenwaterstand (zie par. V. 1.1.7).

1.3.3. Indeling van de meest voorkomende typen stuwen naar constructietype

- a. Vaste stuwen
 - rechte kruin
 - andere kruinvormen
- b. Regelbare stuwen
 - schotbalkstuw
 - stuw met schuif
 - stuw met klep
- c. Bijzondere stuwen (vast en regelbaar)
 - segmentstuw
 - cascadestuw
 - hevelstuw
 - stuw met contra-gewicht
 - inlaat-, aflatstuw

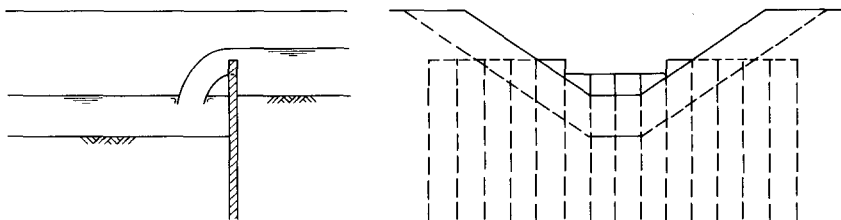
Vaste stuwen

De meeste technische stuwen kunnen worden uitgevoerd als vaste stuwen met een rechte kruin (fig. 1.3.10).

De overstortende straaldikte is afhankelijk van de stuwbreedte en het debiet en bepaalt de hoogte van het bovenstrooms waterpeil. Is een grote peilfluctuatie niet gewenst, dan zal een grotere stuwbreedte moeten worden gekozen. De stuwbreedte kan eventueel trapsgewijs vergroot worden (fig. 1.3.11).

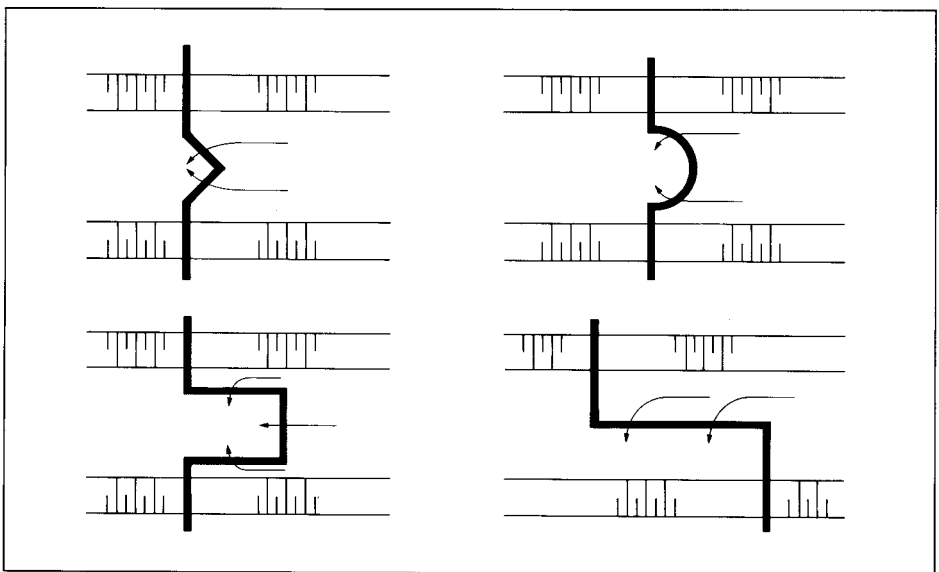
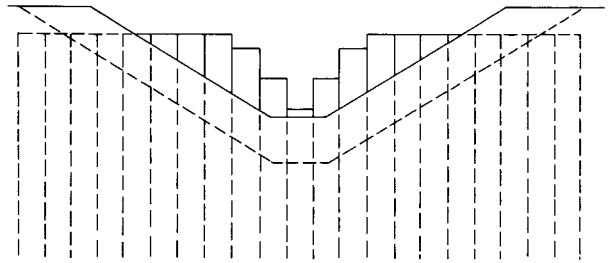
De overstortende straaldikte kan daardoor dusdanig worden bepaald dat het bovenstroomse stuwpeil bij een bepaald debiet correspondeert met de evenwichtsdiepte in de toevoerwaterloop. Daardoor kunnen stuw- resp. valkrommen in de waterloop worden voorkomen.

Enkele voorbeelden van vaste stuwen.



Figuur 1.3.10. Vaste stuw met plaatselijk verlaagde kruin.

Figuur 1.3.11.
Vaste stuw met getrapte kruin ter
voorkoming van stuw- resp. val-
krommen.



Figuur 1.3.12. Vaste stuwen met vergrote overstortbreedte om bij kleine slootbreedte peilschommelingen te beperken.

Regelbare stuwen

Algemeen

De meeste landbouwkundige stuwen zullen worden uitgevoerd als regelbare stuw. Hierdoor is het mogelijk gedurende verschillende perioden van het groeiseizoen de meest wenselijke slootpeilen in te stellen. Bij waterinlaat of bij aanwezigheid van een voldoende basisafvoer kan door middel van een regelbare stuw een hoog zomerpeil worden ingesteld.

Hoewel schotbalkstuwen nog wel voorkomen, zullen de meeste stuwen toch worden uitgevoerd met een schuif of met een klep. De woelbaklengte L (fig. 1.3.23) van een stuw met schuif kan korter zijn dan van een stuw met een klep.

Bij kleine bodemsprongen en een grote stuwhoogte vormt de schuifberging vaak een probleem. Soms zal het nodig zijn de woelbak te verdiepen of over te gaan tot toepassing van een dubbele schuif (zie fig. 1.3.13). De schuif of klep kan worden opgehangen aan kabels, heugelstangen, spindels of hydraulische cilinders en handmatig dan wel door middel van een motor worden bediend. Vanwege de vaak grote krachten die nodig zijn om het gewicht van de klep of schuif en de wrijving ten gevolge van de schuif- c.q. draaibeweging te overwinnen, is een tandwiel of wormwieloverbrenging gewenst om de benodigde kracht te reduceren. Bij toepassing van een klep moeten het ophang- en bewegingsmechanisme in de regel zwaarder worden uitgevoerd dan bij een schuif, omdat de waterdruk die boven de klep aanwezig is, moet worden overwonnen.

Verhoogde drempel

De schuif- respectievelijk kleplengte kan worden beperkt door toepassing van een verhoogde vaste drempel. Bij een schuifconstructie heeft toepassing van een verhoogde vaste drempel tevens het voordeel dat het probleem van de schuifbeweging wordt vereenvoudigd.

In theorie kan de vaste drempel worden toegepast tot de laagste waarde van de volgende twee berekeningen:

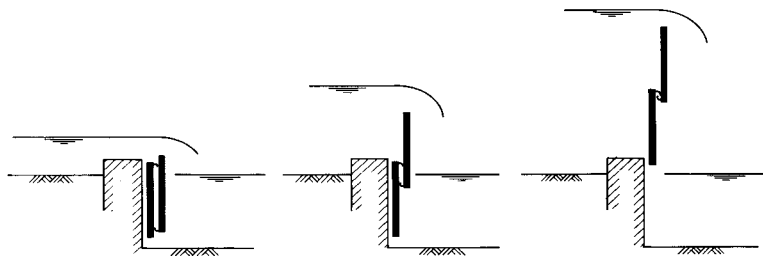
Normaalwaterlijn (NW) - overstortende straalhoogte bij $Q_n (= \frac{1}{2}Q_h)$
 Hoogwaterlijn (HW) - overstortende straalhoogte bij Q_h

Q_h is de ontwerpafvoer die gemiddeld 1 dag per jaar wordt overschreden (zie par. V. 1.1.2).

Bij klepstuwen met een verhoogde vaste drempel kan de woelbaklengte korter zijn. De aanwezigheid van een permanente waterschijf in het bovenstrooms gelegen pand van de waterloop als gevolg van de vaste drempel, kan een belemmering zijn bij het goed onderhouden van de bodem en taluds.

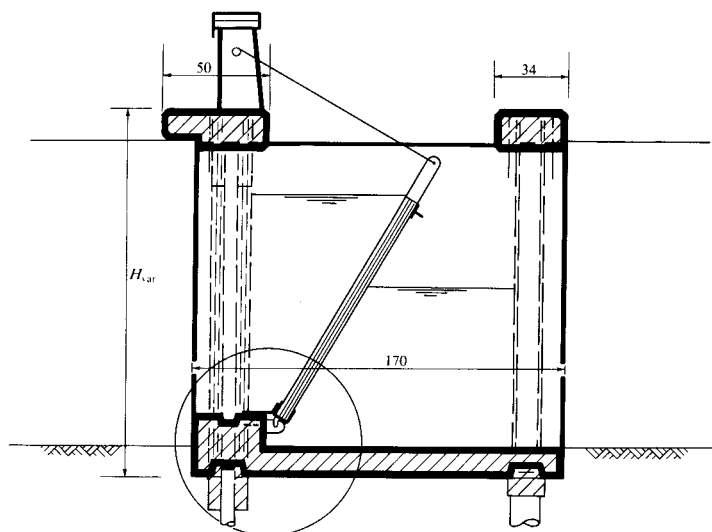
Klep- en schuiflengte

De klep- resp. schuiflengte wordt bepaald door het hoogteverschil tussen het maximale gewenste stuwpeil en de hoogte van de vaste drempel (bij een schuif) of van het draaipunt van de klep. In zijn maximale stand vormt de klep een hoek van circa 60° met de horizontaal.



Figuur 1.3.13. Werking van een dubbele schuif.

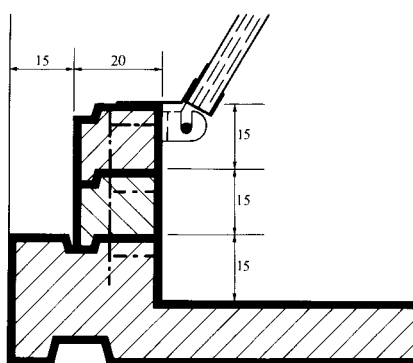
Enkele voorbeelden van regelbare stuwen.



doorsnede stuwbak

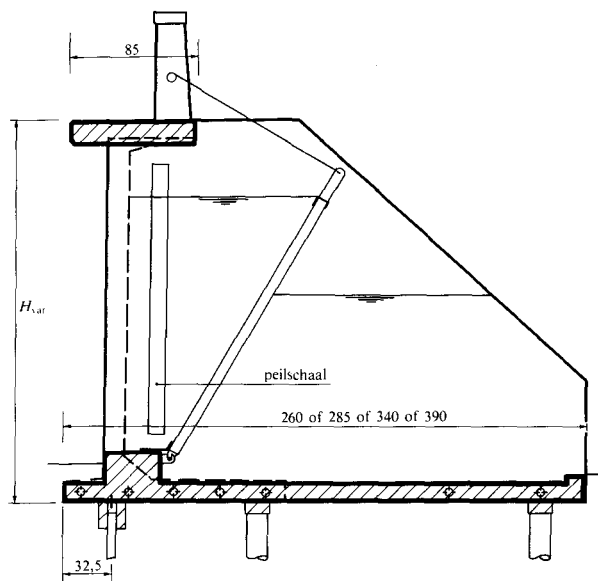
Ter weerszijden van de stuwbak dient een houten schermwand te worden aangebracht.

doorstroombreedte 1,00, 1,50 en 2,00 m
 stuwbakhoogte H 1,40, 1,55, 1,70, 1,85, 2,00 en 2,20 m



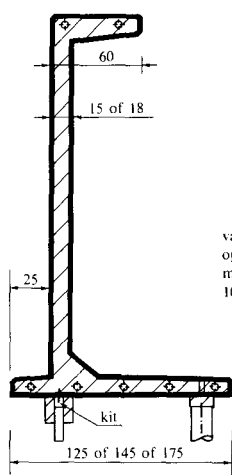
detail verhoogde drempel

Figuur 1.3.14. Geprefabriceerde stuwbakken type (Dijkstra).

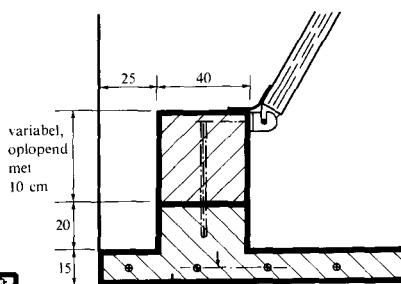


doorsnede stuwbak

doorstroombreedte van 1,00 t/m 5,00 m (met intervallen van 0,50 m)
 stuwbakhoogte H 1,70, 2,00, 2,50 en 3,00 m

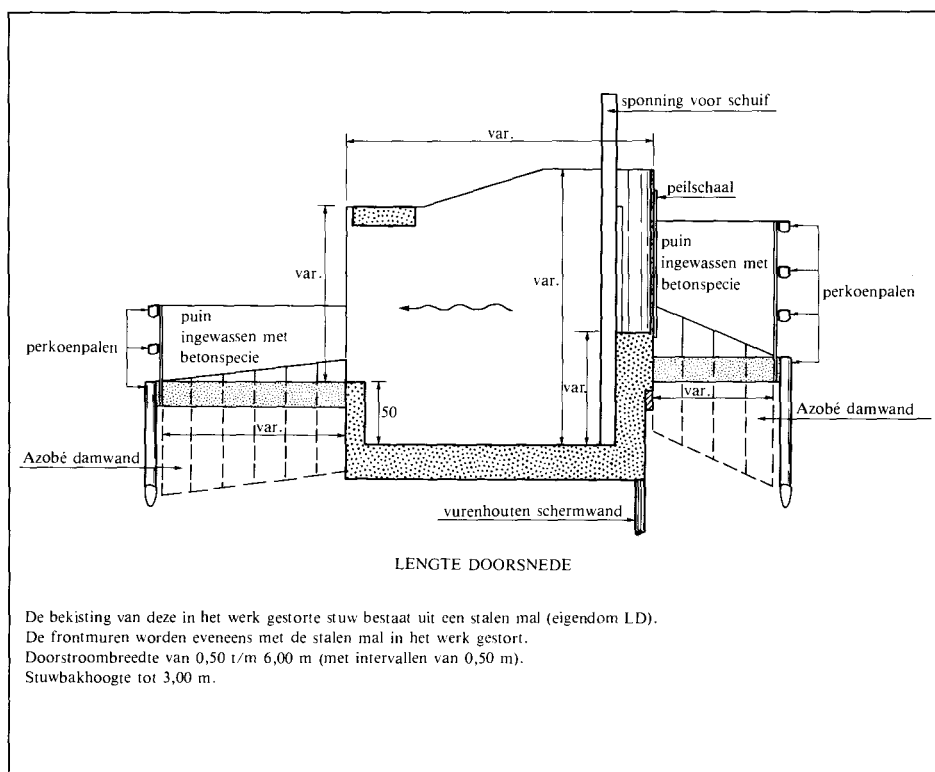


doorsnede schermwand



detail verhoogde drempel

Figuur 1.3.15. Geprefabriceerde klepstuw type (Romijn).

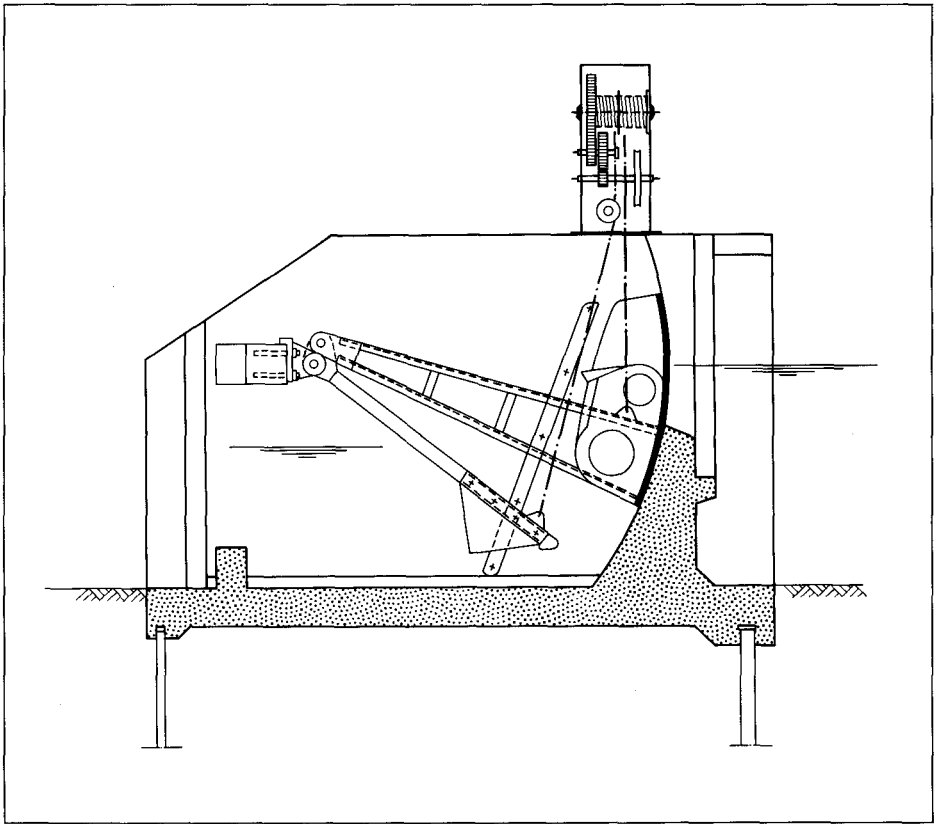


Figuur 1.3.16. (Stalen mal)-stuw met schuif.

Bijzondere stuwen

Segmentstuw

Deze stuw bestaat uit een segmentvormig stuwlichaam. De stuw is geschikt voor verwerking van grote afvoeren. Door een hefboom kan de segmentschuif van de aanslag worden getrokken, waardoor deze minder wrijving ondervindt bij schuifstandverandering.

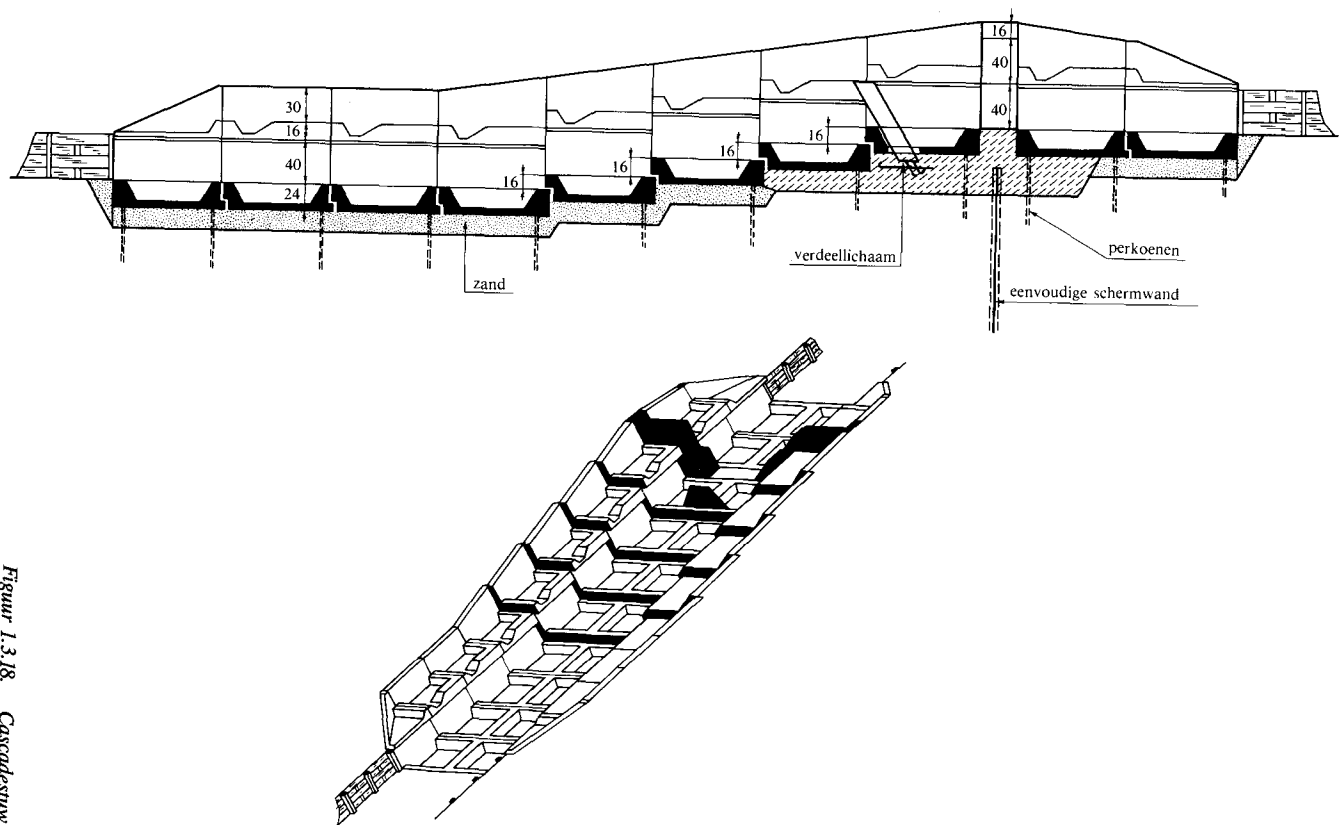


Figuur 1.3.17. Segmentstuw.

Cascadestuw

Een cascadestuw is een verzameling van losse elementen die zodanig worden samengesteld dat bovenstrooms geen stuw- of valkromme optreedt en optimale energievernietiging en waterbeluchting kan plaatsvinden. Door de helling van de constructie in langsrichting zijn geen of nauwelijks voorzieningen nodig ter voorkoming van onder- en achterloopsheid. De stuw is zeer geschikt als vistrap.

Waterconservering is niet mogelijk.

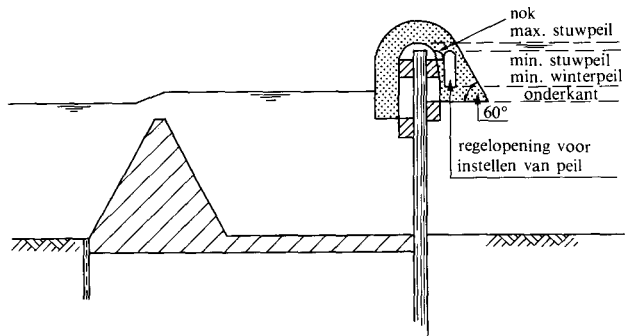


Figuur 1.3.18. Cascadestuw.

Hevelstuw

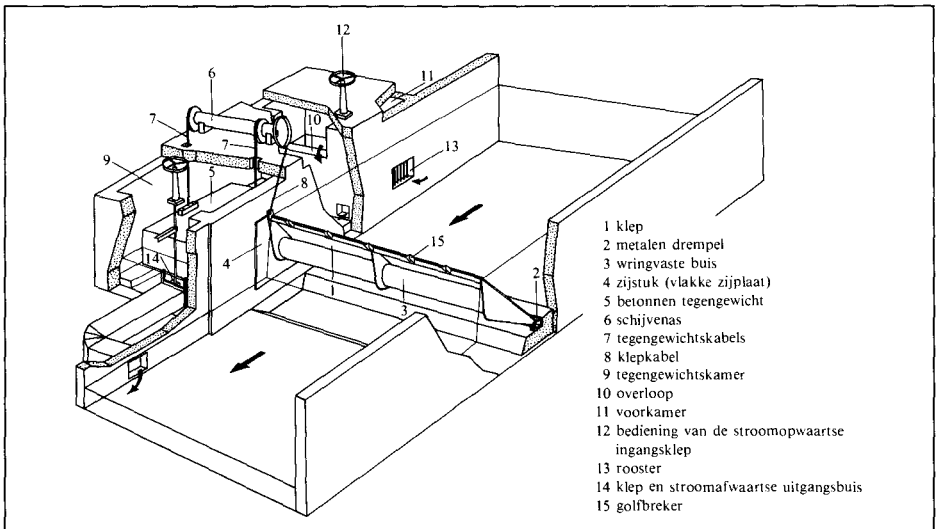
Een hevelstuw heeft de eigenschap een grote afvoercapaciteit te koppelen aan een geringe overstortbreedte. De capaciteit wordt bepaald door het peilverschil tussen boven- en benedenwaterstand waar dat bij een gewone stuw wordt bepaald door het peilverschil tussen bovenwaterstand en kruin. Bij verschil tussen zomer- en winterpeil kan de hevel in hoogte versteld worden. De stuw kan worden geautomatiseerd door middel van een vacuumpomp, gestuurd door elektroden of door middel van een met een schuif te regelen luchtinlaat.

Figuur 1.3.19. Hevelstuw



Stuw met contra-gewicht

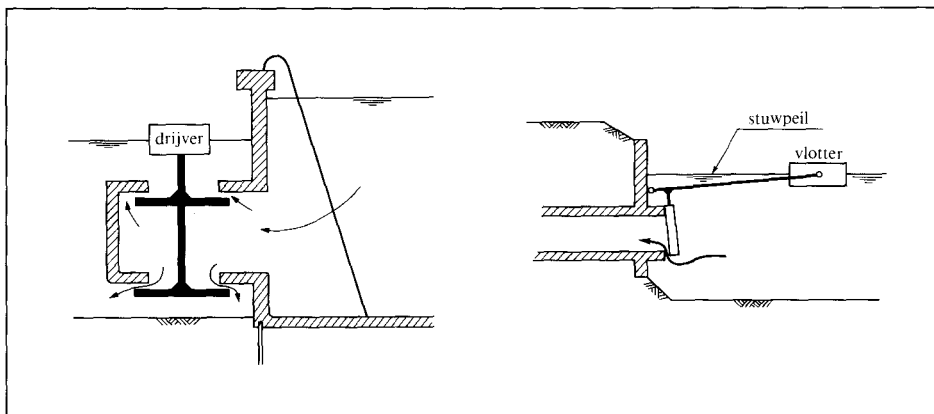
De stuw met contra-gewicht is een automatisch werkende klepstuw die de bovenwaterstand reguleert door middel van de hoogte-instelling van een inlaatkoker (of schuif), waardoor meer of minder water in een afzonderlijke ruimte stroomt waarin een contra-gewicht de klep met de daarop werkende waterdruk in evenwicht houdt.



Figuur 1.3.20. *Stuw met contra-gewicht.*

Inlaat- c.q. aflaatstuw

Door gebruikmaking van drijvers is het mogelijk een automatisch werkende inlaat c.q. aflaatstuw te construeren. Veelal veroorzaakt de aanwezigheid van drijvend vuil in de waterloop de nodige problemen bij de schuif- c.q. klepafdichting. Ter voorkoming daarvan kan een krooshek worden gebouwd, al werkt dit meestal niet afdoende.



Figuur 1.3.21. Principeschetsen inlaat-, c.q. aflaatstuw.

1.3.4. Automatiseren van stuwen

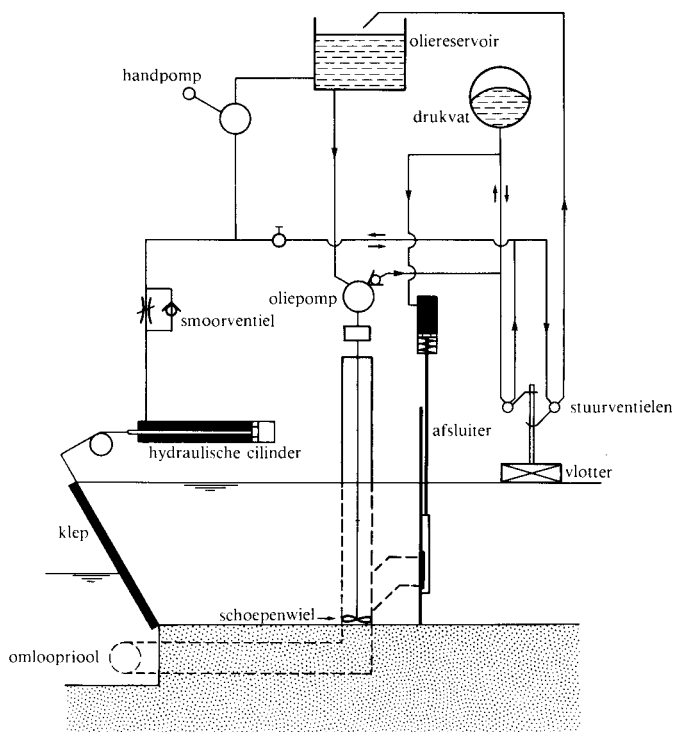
De regelbare stuwen kunnen worden onderverdeeld in handbediende stuwen en automatisch werkende stuwen.

Ten opzichte van een vaste stuw moeten de handbediende en de automatisch werkende stuwen voorkomen dat als gevolg van fluctuaties in het wateraanbod (droogte, neerslag) te grote peilschommelingen in de gestuwde waterloop plaatsvinden. Omdat bij handbediende stuwen niet snel genoeg gereageerd zal/kan worden op plotselinge debietveranderingen, kan het ingestelde stuwpeil over het algemeen niet zo hoog ingesteld worden als bij automatisch werkende stuwen het geval zal zijn. Met name in de zomer kan bij de laatste een op de desbetreffende bodemgesteldheid aangepast optimaal peil worden ingesteld.

Om dezelfde reden kan de stuwbreedte bij automatisch werkende stuwen over het algemeen kleiner zijn dan bij handbediende stuwen die op hun beurt in de regel weer smaller zullen zijn dan vaste overlaten. Aan de hand van berekeningen van een aantal waterlopen met verschillende debieten en verschillend verhang zowel in vlakke poldergebieden als in gebieden met een grote terreinhelling, kan voorzichtig worden geconcludeerd dat de klepbreedte van een handbediende stuw bij automatisering kan worden gehalveerd. Wel dient bij smalle stuwbreedten aandacht te worden geschonken aan de energievernietiging van de grote overstortende straal.

Het automatiseren van stuwen zal in de regel plaatsvinden door toepassing van een elektromotor die al of niet door tussenplaatsing van een overbrengingsmechanisme (tandwielkast) de schuif- c.q. klepbeweging regelt. De motor wordt gestuurd door middel van niveau-regelapparatuur zoals elektroden, tuimelschakelaars of drukdozen. De schuif of klep kan opgehangen worden aan kabels, heugelstangen of hydraulische cilinders. Indien de klep c.q. schuif bevestigd is aan een hydraulische cilinder, is voor de bediening een oliepompe nodig.

In de regel zal voor de energievoorziening aangesloten worden op het elektriciteitsnet. Is de afstand van kunstwerk naar het openbare elektriciteitsnet erg groot, waardoor de aansluitingskosten erg hoog zouden worden, dan kan overwogen worden gebruik te maken van alternatieve energiebronnen zoals windenergie, zonneënergie en potentiële energie door waterpeilverschillen. Een voorbeeld van deze laatste categorie is weergegeven in figuur 1.3.22.



Figuur 1.3.22. Automatische stuw door middel van potentiële energie.

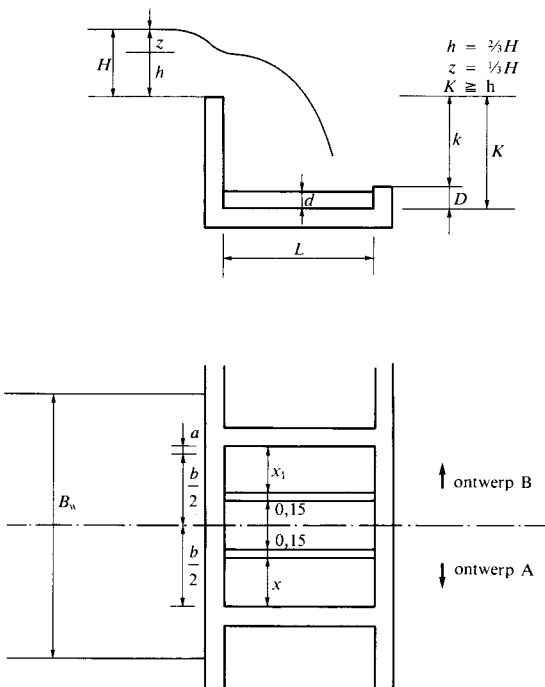
Meestal zal een automatische stuw het bovenpeil reguleren, dat wil zeggen dat onafhankelijk van het debiet de bovenwaterstand constant wordt gehouden. Soms is het echter wenselijk te automatiseren op het benedenpeil (bijvoorbeeld bij inlaat) of op een constant overstortend debiet.

Indien bij de stuw een netaansluiting is gerealiseerd of door middel van een alternatieve energiebron elektriciteit beschikbaar is, bestaat de mogelijkheid het kunstwerk in te richten als meetstation voor debiet- c.q. peilmeting waarvan de gegevens indien wenselijk via een lijnverbinding naar een centraal meet- en regelcentrum gestuurd kunnen worden.

1.3.5. Woelbak

Voor de vernietiging van de energie die vrijkomt door het vallende water is een constructie nodig die tevens voorkomt dat de benedenstreams van de stuw gelegen bodem erodeert. Voor de bepaling van lengte en diepte van een dergelijke constructie bestaan vele theorieën. De meest gebruikte empirisch bepaalde methode voor volkomen overlaten is weer gegeven in figuur 1.3.23.

De woelbaklengte L die aldus wordt uitgerekend, moet bij toepassing van een klep worden opgeteld bij de op het horizontale vlak geprojecteerde kleplengte.



Figuur 1.3.23. Globale bepaling lengte en hoogte van een woelbak.

De berekening gaat als volgt:

$$h = \sqrt[3]{\left(\frac{Q}{b}\right)^2 \cdot \frac{1}{g}}$$

De woelbakdiepte $D = \frac{1}{2} h$

De hoogte van de langsrempels $d = \frac{3}{4} D$

$K = k + D$ Uit $\frac{h}{K}$ volgt C_L (zie tabel 1.3.1)

De lengte van de woelbak $L = C_L \cdot \sqrt{(h \cdot K)}$

B_w = breedte op waterlijn bovenstrooms

Uit $\frac{B_w}{b}$ volgt C_x (zie tabel 1.3.2)

ONTWERP A

Woelbakbreedte = b

$a = 0$

$x = C_x \cdot b$ m

Voorbeeld:

$Q = 1,585 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

$k = 1,00 \text{ m}$

$b = 2,00 \text{ m}$

$a = 0$

$B_w = 5,30 \text{ m}$

$$h = \sqrt[3]{\left(\frac{1,585}{2}\right)^2 \cdot \frac{1}{9,81}} = 0,40 \text{ m}$$

$D = \frac{1}{2} \cdot 0,40 = 0,20 \text{ m}$

$d = \frac{3}{4} \cdot 0,20 = 0,15 \text{ m}$

$K = k + D = 1,00 + 0,20 = 1,20 \text{ m}$

$\frac{h}{k} = \frac{0,40}{1,20} = 0,33; C_L = 2,888$

$L = 2,888 \cdot \sqrt{(0,4 \cdot 1,20)} = 2,00 \text{ m}$

$\frac{B_w}{b} = \frac{5,30}{2} = 2,65; C_x = 0,2804$

$x = 0,2804 \cdot 2 = 0,56 \text{ m}$

ONTWERP B

Woelbakbreedte = $b + 2a$ (vanwege beluchting)

$a < 0,031 \cdot b$

$x_1 = C_x \cdot b + 3a$ m

Voorbeeld:

$Q = 1,585 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

$k = 1,00 \text{ m}$

$b = 1,90 \text{ m}$

$a = 0,05 \text{ m}$

$B_w = 5,30 \text{ m}$

$$h = \sqrt[3]{\left(\frac{1,585}{1,9}\right)^2 \cdot \frac{1}{9,81}} = 0,41 \text{ m}$$

$D = \frac{1}{2} \cdot 0,41 = 0,21 \text{ m}$

$d = \frac{3}{4} \cdot 0,21 = 0,16 \text{ m}$

$K = k + D = 1,00 + 0,21 = 1,21 \text{ m}$

$\frac{h}{k} = \frac{0,41}{1,20} = 0,34; C_L = 2,902$

$L = 2,902 \cdot \sqrt{(0,4 \cdot 1,21)} = 2,04 \text{ m}$

$\frac{B_w}{b} = \frac{5,30}{1,90} = 2,79; C_x = 0,28125$

$x_1 = 0,28125 \cdot 1,90 + 3 \cdot 0,05 = 0,68 \text{ m}$

Tabel 1.3.1. Bepaling van C_L uit $\frac{h}{K}$

$\frac{h}{K}$	C_L	$\frac{h}{K}$	C_L	$\frac{h}{K}$	C_L	$\frac{h}{K}$	C_L
0,00	2,500	0,25	2,786	0,50	3,138	0,75	3,620
0,01	2,511	0,26	2,798	0,51	3,154	0,76	3,643
0,02	2,522	0,27	2,811	0,52	3,170	0,77	3,667
0,03	2,533	0,28	2,823	0,53	3,187	0,78	3,690
0,04	2,544	0,29	2,836	0,54	3,204	0,79	3,714
0,05	2,555	0,30	2,849	0,55	3,221	0,80	3,738
0,06	2,566	0,31	2,862	0,56	3,239	0,81	3,763
0,07	2,577	0,32	2,875	0,57	3,257	0,82	3,788
0,08	2,588	0,33	2,888	0,58	3,275	0,83	3,813
0,09	2,600	0,34	2,902	0,59	3,293	0,84	3,839
0,10	2,611	0,35	2,915	0,60	3,311	0,85	3,865
0,11	2,622	0,36	2,929	0,61	3,330	0,86	3,891
0,12	2,633	0,37	2,942	0,62	3,349	0,87	3,918
0,13	2,645	0,38	2,956	0,63	3,368	0,88	3,945
0,14	2,656	0,39	2,971	0,64	3,388	0,89	3,972
0,15	2,667	0,40	2,985	0,65	3,407	0,90	4,000
0,16	2,679	0,41	2,999	0,66	3,427	0,91	4,028
0,17	2,690	0,42	3,014	0,67	3,448	0,92	4,057
0,18	2,702	0,43	3,029	0,68	3,468	0,93	4,086
0,19	2,714	0,44	3,044	0,69	3,489	0,94	4,115
0,20	2,726	0,45	3,059	0,70	3,510	0,95	4,145
0,21	2,737	0,46	3,074	0,71	3,532	0,96	4,175
0,22	2,749	0,47	3,090	0,72	3,553	0,97	4,206
0,23	2,762	0,48	3,105	0,73	3,575	0,98	4,237
0,24	2,774	0,49	3,121	0,74	3,598	0,99	4,268
						1,00	4,300

$C_L = 2,5 + 1,1 \cdot \frac{h}{K} + 0,7 \cdot \left(\frac{h}{K}\right)^3$

Tabel 1.3.2. Bepaling C_x uit $\frac{B_w}{b}$

$\frac{B_w}{b}$	C_x	$\frac{B_w}{b}$	C_x	$\frac{B_w}{b}$	C_x	$\frac{B_w}{b}$	C_x
1,0	0	1,5	0,2325	2,0	0,2650	2,5	0,2768
1,025	0,0725	1,525	0,2350	2,025	0,26625	2,525	0,2772
1,050	0,10	1,550	0,2375	2,050	0,2670	2,550	0,2776
1,075	0,12	1,575	0,239	2,075	0,2675	2,575	0,2800
1,1	0,13625	1,6	0,240	2,1	0,26875	2,6	0,2801
1,125	0,15	1,625	0,2425	2,125	0,27000	2,625	0,28025
1,150	0,1587	1,650	0,245	2,150	0,27100	2,650	0,28040
1,175	0,1675	1,675	0,2462	2,175	0,27125	2,675	0,28055
1,2	0,176	1,7	0,24875	2,2	0,2725	2,7	0,28070
1,225	0,1840	1,725	0,25	2,225	0,2730	2,725	0,28085
1,250	0,190	1,750	0,2520	2,250	0,2737	2,750	0,28100
1,275	0,1962	1,775	0,25375	2,275	0,2743	2,775	0,28117
1,3	0,2012	1,8	0,2550	2,3	0,2748	2,8	0,28125
1,325	0,20625	1,825	0,25625	2,325	0,275		
1,350	0,210	1,850	0,2575	2,350	0,2753		
1,375	0,215	1,875	0,2587	2,375	0,2757		
1,4	0,21875	1,9	0,2600	2,4	0,2760		
1,425	0,22125	1,925	0,26125	2,425	0,2762		
1,450	0,2250	1,950	0,26250	2,450	0,2764		
1,475	0,22875	1,957	0,26375	2,475	0,2765		

$$C_x^3 + 0,9 \cdot C_x^2 = 1,108 \cdot \frac{\left(\frac{B_w}{b}\right)^2 - 1}{\left(\frac{B_w}{b}\right)^2}$$

1.3.6. Storte- en ontvangbed

Voor het reduceren van de na de woelbak resterende energie is vaak een stortebed noodzakelijk. De bepaling van de lengte van een stortebed is in de praktijk gebleken een moeilijke zaak te zijn.

De noodzakelijke lengte van de bescherming van de benedenstroomse waterloop is afhankelijk van onder meer de goede werking van een woelbak, de waterdiepte in de betreffende waterloop de bodemgesteldheid en de maximaal passerende debieten en stroomsnelheden. Het stortebed moet voldoende gewicht hebben om de bodem die als gevolg van potentiaalverschillen aan opwaartse krachten onderhevig is, op zijn plaats te houden en moet tevens "open" zijn om het kwelwater door te laten. De oppervlakte van het stortebed moet ruw zijn om de stroomsnelheid tot voor een onbeschermde bodem aanvaardbare proporties terug te brengen.

In de praktijk varieert de lengte van een stortebed van circa 3 m bij kleine stuwen tot circa 30 m bij stuwen met grote afmetingen. Als vuistregel zou kunnen worden aangehouden dat het stortebed in eerste aanleg een minimale lengte dient te hebben van 6 maal de overstorthoogte h_s . Mocht blijken dat na verloop van een bepaalde periode bodemerosie benedenstrooms van het stortebed plaatsvindt, dan kan de bodembescherming op eenvoudige wijze door bestorting worden verlengd. Het is daarbij zaak de toestand van de bodem gedurende die bepaalde periode nauwlettend te volgen.

Door daling van de bovenstroomse waterspiegel zal even voor de overlaat een snelheidsverhoging plaatsvinden. Tevens kan door de plotselinge profielvernauwing aan de bovenstroomse zijde van de stuw neervorming (draaikolken) optreden. De snelheidsverhoging en de neervorming kunnen leiden tot aantasting van bodem en taluds van de bovenstroomse waterloop. Het is daarom wenselijk even boven de stuw een ontvangbed te maken dat op dezelfde manier geconstrueerd kan worden als het stortebed. De lengte van het ontvangbed varieert van minimaal 1 tot maximaal 5 m.

1.3.7. Keuze stuwbreedte

Uit de beschrijving van de hydraulische aspecten van een stuw in hfdst. V. 1.7 blijkt dat bij een gegeven ontwerpdebiet een keuze voor de stuwbreedte moet worden gedaan, waarna de overstortende-straaldikte kan worden berekend.

Uit de formule $Q = 1,7 \cdot m \cdot b \cdot h_s^{3/2}$ blijkt dat een brede stuw een geringere overstorthoogte h_s oplevert dan een smalle stuw.

De bouw van een brede stuw is in de regel duurder dan die van een smalle stuw; anderzijds geeft een grote overstortende straaldikte problemen met de energievernietiging. Voor de berekening van de stuwbreedte wordt bovengenoemde formule geschreven als:

$$b = \frac{Q}{1,7 \cdot m \cdot h_s^{3/2}}$$

Voor de dikte van de overstortende straal h_s kunnen de volgende waarden worden gebruikt:

- bij Q_n (N.W.): $h_s \leq 0,30$ m (N.W.)
- bij Q_h (H.W.): $h_s \leq 0,50$ m (H.W.)

2. Wegen en verkeer*

2.1. Beleidskader voor plattelandswegen

Het rijksbeleid aangaande de ruimtelijke ordening is beschreven in een drietal Nota's Ruimtelijke Ordening. Enkele onderdelen van dit beleid betreffen verkeer en vervoer alsmede de landinrichting; hiervoor zijn structuurschema's opgesteld.

In het Structuurschema Verkeer en Vervoer (SVV) (*Ministerie van Verkeer en Waterstaat*, 1979) en het Structuurschema Landinrichting (SL) (*Ministerie van Landbouw en Visserij*, 1985) zijn de algemene doelstellingen van het beleid ten aanzien van deze sectoren weergegeven. Daarnaast is er het Meerjarenplan Personenvervoer (MPP): een nadere uitwerking van het SVV op korte termijn, welke jaarlijks wordt op- c.q. bijgesteld ten aanzien van onder andere veranderde inzichten en financiële mogelijkheden.

In het Structuurschema Verkeer en Vervoer wordt de hoofddoelstelling ten aanzien van het verkeers- en vervoersbeleid verwoord:

"het tegemoet komen aan de vraag naar vervoer van personen en goederen uitsluitend voor zover de bijdrage aan het welzijn van de gemeenschap per saldo positief is".

Deze algemene hoofddoelstelling is nader uitgewerkt in een aantal richtlijnen welke steeds tegen elkaar afgewogen dienen te worden. Volgens de regeringsverklaring van 28 mei 1981 is hierbij het uitgangspunt dat voorrang wordt gegeven aan de verbetering van de kwaliteit van het bestaan, aan het behoud van een kwalitatief hoogwaardig milieu en aan de verbetering van leef-, woon- en werk- omstandigheden.

Aangezien veel maatregelen in de wegen-, de verkeerssector en het vervoer zijn afgestemd op beleidsuitgangspunten, is het waardevol in het navolgende kort samen te vatten wat de voornoemde beleidsnota's over deze sectoren aanhalen, in het bijzonder wat daarbij voor de meer regionale voorzieningen is opgenomen.

Ten aanzien van verkeer en vervoer in landelijke gebieden zegt deel D (de regeringsbeslissing) van het SVV onder andere het volgende ten aanzien van het beleid:

- a. "Een uitgangspunt voor het verkeers- en vervoersbeleid in de landelijke gebieden die voor ongeveer 80% in agrarisch gebruik zijn is, dat de fiets, de bromfiets en de auto het meest in aanmerking komen als vervoermiddelen voor het overgrote deel van de bevolking. Ook het goederenvervoer is veelal aangewezen op de weg. Bij de aanleg van wegen, parkeeraccomodatie en openbaar vervoervoorzieningen en het gebruik daarvan zal het agrarisch aspect en het behoud

* De tekst van dit hoofdstuk is integraal overgenomen uit de "Technische Vraagbaak voor Plattelandswegen", samengesteld door de gelijknamige werkgroep en uitgegeven door de Landinrichtingsdienst, 1988. Vanuit het in hoofdstuk V. 2.1 omschreven beleidskader zijn in deze vraagbaak aanbevelingen gedaan voor uitgangspunten bij het ontwerpen van plannen tot aanleg of verbetering van plattelandswegen. Uitdrukkelijk zij vermeld dat deze aanbevelingen slechts een adviserend en geen dwingend karakter hebben.

van het landschap en het natuurlijk milieu zorgvuldig in de afweging worden betrokken. Hetzelfde geldt ten aanzien van de inrichting van gebieden ten behoeve van onder meer de recreatie.

- b. In de kernen staan veiligheid en een goed leefmilieu voorop. In de buurt van steden zullen impulsen voor ontwikkelingen van forensengemeenten worden tegengegaan.
- c. Op het gebied van de ruimtelijke ordening is een wederzijdse afstemming van kernenpatroon en verkeer en vervoer noodzakelijk. Uitgangspunten zijn daarbij dat de regionale wegen een samenhangend en functioneel opgebouwd geheel vormen met de hoofdwegen en de stedelijke wegen.

De functies van het regionale wegensysteem zijn ontsluiting van het platteland en de onderlinge verbinding van kernen. Ook bij het vaststellen van het lijnenpatroon van het streekvervoer wordt rekening gehouden met de kernen hiërarchie. Voor het verkeer en vervoer op plattelandswegen (niet-planwegen) wordt verwezen naar het Structuurschema voor de Landinrichting.

- d. Aard en tracering van regionale wegen dienen in overeenstemming te zijn met agrarische eisen en eisen van behoud en ontsluiting van waardevolle landschappen en natuurlijke milieus, waarbij zal worden nagestreefd, dat in voorkomende gevallen een gecoördineerde uitvoering in de vorm van landinrichting plaatsvindt. De inrichting van het regionale wegennet dient de gewenste ruimtelijke ontwikkeling en landinrichting te ondersteunen. Op doorgaande wegen door dorps-kommen en dergelijke prevaleert de erffunctie. Snelheid en wegontwerp dienen daarbij aangepast te worden. Nadruk zal liggen op het aanleggen van afzonderlijke (brom)fietspaden in de landelijke gebieden. In het bijzonder geldt de noodzaak van dergelijke paden langs een aantal regionale wegen."

In het MPP 1980-1984 (*Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1979*) worden deze 4 beleidspunten nader uitgewerkt. Ten aanzien van het personenvervoer in landelijke gebieden wordt het volgende opgemerkt:

"De bebouwing in de landelijke gebieden is verspreid en de afstanden zijn mede daardoor meestal vrij groot. De auto vervult er daardoor een onmisbare rol, ook voor de leefbaarheid. Het beleid is er dan ook veelal op gericht aan de vraag naar particulier vervoer te voldoen. Dat kan verbetering van het wegennet betekenen waarbij de verkeersveiligheid een belangrijk criterium is. In bepaalde gevallen kan het ook in landelijke gebieden wenselijk zijn in te grijpen in de verkeerscirculatie met het doel sluipverkeer tegen te gaan. Problemen waardoor het gewenst zou zijn de keuze van vervoermiddel te beïnvloeden levert het autoverkeer in landelijke gebieden doorgaans niet op, althans niet voor wat betreft het aan die gebieden gebonden verkeer, omdat dat dunne verkeersstromen zijn.

In landelijke gebieden vormt ook de fiets een belangrijk element van het vervoerssysteem. Aanpassingen aan de infrastructuur die met name de veiligheid voor fietsers vergroten worden gestimuleerd, onder andere door middel van subsidieregelingen.

Het openbaar vervoer vervult in landelijke gebieden een aanvullende rol omdat de vervoersstromen er zo klein zijn, dat doorgaans geen goed alternatief voor de auto en soms ook niet voor de fiets kan worden geboden."

Het Ministerie van Verkeer en Waterstaat heeft hieraan aandacht besteed in een beleidsnota waarin de rol en de plaats van het openbaar vervoer in rurale gebieden centraal staat.

Het Structuurschema Landinrichting geeft de hoofdlijnen en beginselen van het nationaal landinrichtingsbeleid en geeft in het bijzonder inzicht in de ruimtelijke aspecten van dat beleid. De hoofddoelstelling van het nationaal landinrichtingsbeleid is:

''Het binnen het kader van het totale overheidsbeleid inrichten van delen van het landelijk gebied overeenkomstig de daaraan toegekende functies en hun onderlinge samenhang op een zodanige wijze, dat de maatschappelijke betekenis van dat gebied zo goed mogelijk tot zijn recht kan komen''.

Ten aanzien van het verkeers- en vervoersaspect streeft deze hoofddoelstelling naar:

''Het tot stand brengen van een doelmatige en veilige ontsluiting in het landelijk gebied afgestemd op de te vervullen functies, alsmede de onderlinge aanpassing van de aanleg en verbetering van infrastructurele voorzieningen en de inrichting van het landelijk gebied.''

In het SL wordt aangesloten op de algemene uitgangspunten van het verkeers- en vervoersbeleid in de landelijke gebieden, zoals die in het SVV zijn verwoord; daarnaast omvat het te voeren beleid:

- met betrekking tot de plattelandsontsluiting wordt een veilige en doelmatige ontsluiting van het landelijk gebied nagestreefd. Vanuit een oogpunt van verkeersveiligheid kan in bepaalde situaties voor de aanleg van vrijliggende fietspaden langs plattelandswegen worden gekozen in plaats van wegverbreding;
- de verbetering van de ontsluiting voor de land- en tuinbouw is gericht op een goede bereikbaarheid van bedrijfsgebouwen en gronden ten behoeve van de aan- en afvoer van produkten met vrachtwagens;
- de aanleg van recreatieve fiets- en voetpaden, alsmede van ruiterspaden vindt in landinrichtingsprojecten plaats indien vanuit het oogpunt van recreatiebeleid daaraan prioriteit wordt toegekend;
- binnen het kader van een doelmatige en veilige ontsluiting zal bij de wijze waarop tot handhaving, verbetering of aanleg van (on)verharde wegen wordt overgegaan, rekening worden gehouden met aspecten van natuurwetenschappelijke en landschappelijke aard.

Een nadere uitwerking van het te voeren beleid ten aanzien van de inrichtingsfactor ontsluiting, is in het SL als volgt geformuleerd:

''Het beleid met betrekking tot de plattelandsontsluiting bezien vanuit overwegingen van algemeen maatschappelijk belang is primair gericht op het bevorderen van een doelmatige en veilige ontsluiting van het landelijk gebied, afgestemd op de functies die in het kader van de ruimtelijke ordening aan dat gebied zijn toegekend. Het verharde plattelandswegenet is voor het grootste deel van het landelijk gebied zodanig ontwikkeld, dat de oplossing van de problemen die veroorzaakt worden door de snelle groei van het doorgaande verkeer, het woon en werkverkeer, het recreatieverkeer en het verzorgingsverkeer in de eerste plaats gezocht dient te worden in een efficiënter en veiliger gebruik van het reeds bestaande wegennet. In het algemeen zullen ten behoeve van het maatschappelijk verkeer geen nieuwe plattelandswegen worden aangelegd. Het beleid is erop gericht door aanpassing en verbetering van het bestaande plattelandswegennet een zodanige geleiding van het verkeer te bewerkstellingen dat er een duidelijker ordening naar verkeerssoorten optreedt, zoals een scheiding tussen doorgaand verkeer en bestemmingsverkeer. Voorts zal ernaar worden gestreefd een scheiding van het snelle verkeer en het langzame

verkeer te bewerkstellingen en sluipverkeer tegen te gaan. Teneinde dit te bereiken zal bevorderd worden dat bestaande mogelijkheden in de sfeer van verkeersgeleiding intensiever worden gebruikt.

Daarbij wordt bijvoorbeeld gedacht aan het afsluiten van wegen en het geleiden van recreatieverkeer. Het wegontwerp zal duidelijk moeten worden gekoppeld aan de specifieke functie van een plattelandsweg. Om een nuttiger en veiliger gebruik van het bestaande wegennet mogelijk te maken, kan in gevallen van overbelasting en ernstige beschadiging van het wegdek reconstructie dan wel verbreding van wegen noodzakelijk zijn."

2.2. Verkeersonderzoek en normering

2.2.1. Inleiding

Het vervoer van personen en goederen over de weg is veelal geen doel op zich maar een middel om de essentiële activiteiten van ons bestaan mogelijk te maken. Hierbij kan men onder meer denken aan wonen, werken en recreëren. Om genoemde activiteiten te kunnen verrichten is een aantal verschillende infrastructuren nodig. Het wegennet is er slechts één van. Uit oogpunt van verkeersbelang zou men ernaar kunnen streven dat een ieder zich op veilige en snelle wijze kan verplaatsen met het vervoermiddel van zijn keuze naar elke willekeurige plaats op het door hem gekozen tijdstip. Indien dit de enige of overwegende criteria zijn voor het opstellen van een verkeersplan, dan kan dit leiden tot een te fors wegennet en/of een te grote lengte aan wegen, hetgeen schade kan toebrengen aan de belangen van andere beleidssectoren zoals landbouw, natuur, milieu, recreatie en landschap. Voor de planvorming is het derhalve noodzakelijk dat men weet welke sectoren naast de verkeerssector een rol spelen en tevens dat bekend is wat de invloed is van verkeersmaatregelen op de overige sectoren.

Verkeersplannen ondersteunen nog te vaak een vraagvolgend verkeersbeleid. Dit wil zeggen dat de afmetingen en de constructie van het wegennet worden afgestemd op wat er aan ontwikkelingen wordt verwacht zonder dat aandacht wordt besteed aan de wenselijkheid ervan. Een confrontatie van de verwachte ontwikkeling met een gewenste ontwikkeling leidt ertoe dat bij de planvorming sterker wordt aangesloten bij de vanuit het beleid geformuleerde functies van het wegennet. Hierdoor wordt een verschuiving mogelijk van een vraagvolgend naar een sturend verkeersbeleid.

Om voornoemde redenen kan het opstellen van een interdisciplinair verkeersplan als wenselijk worden beschouwd. De inhoud van zo'n plan dient de volgende elementen te bevatten:

- doelstellingen zoals verwoord in de beleidsnota's als SVV en SL;
- relatie met overige planologische ontwikkelingen;
- randvoorwaarden zoals die door de overige beleidssectoren zijn geformuleerd (bijvoorbeeld natuur, milieu, recreatie, landschap en landbouw);
- beschrijving weg- en verkeerskenmerken in huidige situatie;
- toetsing van kenmerken aan normen voor de bepaling van knelpunten;
- opstellen variantoplossingen

- consequenties van de varianten in de toekomstige situaties voor verkeersaspecten en andere beleidssectoren, een en ander door toetsing aan normen en criteria;
- variantenonderzoek;
- variantenkeuze toetsen aan doelstellingen;
- conclusies en aanbevelingen.

Voor het opstellen van een verkeersplan met deze elementen dient kennis aanwezig te zijn van de relevante verkeersgegevens, rekenmethodieken, normen en criteria.

Na verzamelen van de betreffende verkeersgegevens door middel van een verkeersonderzoek dient een rekenmethodiek voorhanden te zijn om deze gegevens te kunnen verwerken tot informatie waarmee toetsing aan normen en criteria kan plaatsvinden, op grond waarvan conclusies getrokken en aanbevelingen gedaan kunnen worden ten behoeve van de planvorming.

2.2.2. Verkeersonderzoek

In het onderstaande worden in het kort enkele methodieken beschreven welke gebruikt worden voor het verzamelen van gegevens over het verkeer.

Mechanische verkeerstelling

Met behulp van een op de weg geplaatste luchtslang of in de weg gezaagde lus, welke gekoppeld is aan een registratie-apparaat wordt het aantal passerende assenparen, c.q. het aantal voertuigen geregistreerd. Registratie met de luchtslang vindt plaats doordat elke aspassage een luchtpuls aan het registratie-apparaat doorgeeft.

Registratie door middel van een lus geschiedt doordat passage van een voertuig een inductiestroom in de lus veroorzaakt welke in het registratie-apparaat wordt opgenomen.

Eén- of tweemaal per dag op vaste tijdstippen wordt door een waarnemer de stand van het telmechanisme afgelezen. De waarnemingsperiode dient om statistische redenen minimaal 2 weken te bedragen. Voor de bepaling van het jaarlijks etmaalgemiddelde dient zowel in het voorjaar als in het najaar te worden geteld.

Voor de bepaling van het aantal voertuigen dient het aantal assenparen te worden gereduceerd. De reductie wordt bepaald door de assencoëfficiënten van de voorkomende voertuigcategorieën, immers er passeren naast 2-assers dikwijls meerassige voertuigen.

De telresultaten geven een inzicht in de etmaalintensiteiten en het verloop van de verkeersintensiteiten naar dagsoort. Indien zeer lange perioden wordt geteld is het mogelijk het verloop van de verkeersintensiteiten naar week- en maandsoort te bepalen, alsmede de seizoensinvloed.

Visuele verkeerstelling

Visuele tellingen leveren informatie welke door persoonlijke waarneming wordt verkregen. In verband met de menselijke beperkingen en de relatief hoge kosten wordt op een beperkt aantal dagen gedurende 12 uur, doorgaans van 7.00 tot 19.00 uur, het verkeer waargenomen en genoteerd. Het aantal waarnemingsdagen (minimaal 4) wordt over de waarnemingsperioden in voor- en najaar en over de week, de zaterdag en de zondag verdeeld.

De visuele telling geeft inzicht in de aard en omvang van het verkeer. Met behulp van de resultaten kunnen de assencoëfficiënten van de onderscheiden voertuigcategorieën worden bepaald. Door koppeling van de visuele en de mechanische telling wordt voor de mechanische telling de verdeling van de voertuigcategorieën bepaald. In geval van koppeling moeten beide waarnemingen in dezelfde periode plaatsvinden. Een visuele telling uitgevoerd op een kruispunt geeft naast inzicht in de verkeersstromen op het kruispunt ook inzicht in de aard en omvang van het verkeer op de aansluitende wegvakken.

Kentekenwaarnemingen

Kentekenwaarnemingen worden verricht om van een weg of gebied de verhouding tussen weg- of gebiedgebonden verkeer en doorgaand verkeer te bepalen.

Op geselecteerde wegvakken worden de kentekens van personenauto's en vrachtauto's of bussen per richting genoteerd. Het is belangrijk dat, afhankelijk van de vraagstelling, de waarnemingspunten weloverwogen worden gekozen. De waarnemingsresultaten geven inzicht in de relaties tussen de onderscheiden waarnemingspunten. Indien de gezochte relaties via meer waarnemingspunten gaan, kan tevens de routekeuze worden bepaald. Binnen het onderzochte gebied kunnen de herkomsten en bestemmingen van externe en interne ritten worden bepaald. Met behulp van de resultaten kan de mate van oneigenlijk gebruik van het bestaande wegnnet worden vastgesteld en kan op basis van de huidige relaties de verkeersintensiteit op aan te leggen wegen worden bepaald. Indien het aantal waarnemingspunten gering is, kan verwerking van de resultaten handmatig geschieden. Bij meer dan 2 waarnemingspunten of langdurige waarnemingsperioden verdient het aanbeveling om de gezochte relaties met behulp van de computer te bepalen. (*Regterschot en Moret, 1984.*)

Weg-enquête

Bij deze methode worden de verkeersdeelnemers aangehouden en ondervraagd. Met behulp van de resultaten kan inzicht worden verkregen in de herkomsten en bestemmingen van de ritten en de aldaar verrichte activiteiten. Ten opzichte van de kentekenwaarneming kan men tevens de effecten van de maatregelen voor de onderscheiden ritmotieven bepalen.

Het waarnemingspunt moet hiervoor worden ingericht met hekwerken en verkeersborden. Tevens is het noodzakelijk dat politietoezicht aanwezig is voor een ordelijk verloop van de enquête. De vragen aan de weggebruikers hebben betrekking op de herkomst en bestemming, de aldaar (te) verrichte(n) activiteiten, de frequentie van de rit, aantal inzittenden, voertuigsoort, routekeuze en dergelijke.

Afhankelijk van de omvang van de vragenlijst en de verkeersintensiteit kan de bezetting van het waarnemingspunt worden bepaald.

Snelheidsmeting

Met behulp van radarapparatuur kan de snelheid van het verkeer worden gemeten.

Een opvallende opstelling van de apparatuur is hierbij noodzakelijk om een reëel beeld van de snelheidsverdeling te krijgen.

Met behulp van de resultaten kan worden vastgesteld of de snelheden en snelheidsverschillen van de diverse voertuigcategorieën, gelet op de aanwezige wegen verkeerskenmerken, toelaatbaar zijn. Voorts kunnen de gevonden snelheden een maat zijn voor de kwaliteit van de verkeersafwikkeling.

2.2.3. Normen

Capaciteit van plattelandswegen

Het door de Landinrichtingsdienst gehanteerde criterium voor de capaciteit van plattelandswegen is de mate van bermbeschadiging ten gevolge van het berijden van de bermen door het verkeer. Dit criterium wordt gehanteerd om de volgende redenen:

- een vlakke berm is uit een oogpunt van verkeersveiligheid gewenst; het berijden van een zwaar beschadigde berm welke veelal ongelijk ten opzichte van de verharding ligt, kan met name voor het langzame verkeer onveilig zijn;
- een zwaar beschadigde berm kan de wegconstructie aantasten, door afkalving en indringing van water;
- een berm welke frequent zwaar beschadigd wordt leidt tot forse overschrijding van de redelijke onderhoudskosten van de weg.

Uit een in 1980 gehouden empirisch onderzoek (*Mooij*, 1981) op 480 wegvakken van plattelandswegen is een relatie gevonden tussen de verhardingsbreedte, de grondsoort, de intensiteit van het gemotoriseerde verkeer en het percentage vracht- en landbouwverkeer.

De resultaten van het onderzoek zijn in de figuren 2.2.1 en 2.2.2 door middel van nomogrammen weergegeven. Bij een gemiddeld percentage vracht- en landbouwverkeer van 12-13% kunnen de volgende capaciteitsgrenzen worden aangehouden.

Tabel 2.2.1. Capaciteit van wegen (mvt per etmaal, jaargetmaalgemiddelde)*

Wegbreedte (m)	Grondsoort	
	zand (mvt · d ⁻¹)	klei/veen (mvt · d ⁻¹)
3,00	350	300
3,50	400	350
4,00	575	500
4,50	1.000	800
5,00	1.400	1.150

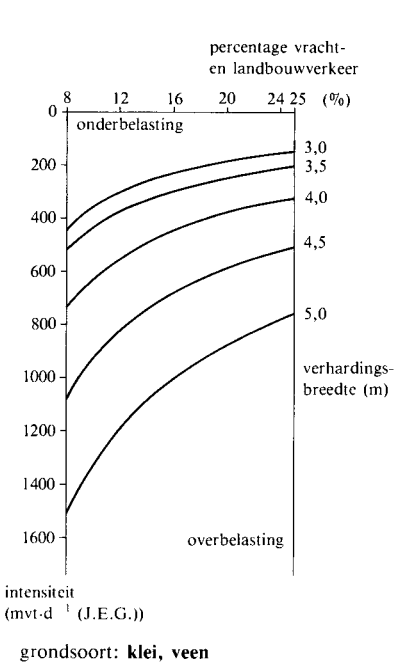
* Hierbij is als criterium de mate van bermbeschadiging gehanteerd.

Ingeval van afwijkende percentages vracht- en landbouwverkeer kunnen de nomogrammen worden gehanteerd in figuren 2.2.1 en 2.2.2.

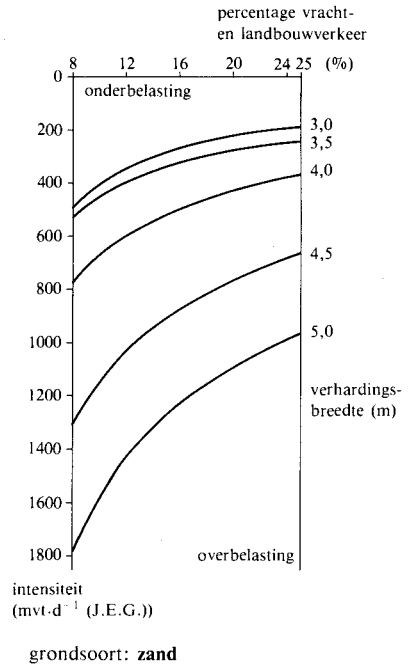
Voor 5,50 m brede wegen is de mate van bermbeschadiging geen goed criterium meer voor de bepaling van de capaciteit van de weg. Bijna alle passages van motorvoertuigen kunnen immers op de verharding worden afgewikkeld. Voor deze wegen kan beter de methode uit de Highway Capacity Manual (HCM) worden gehanteerd.

Bij de bepaling van de capaciteit wordt hierbij een norm gehanteerd waarbij op de weg een bepaalde rijsnelheid kan worden aangehouden en waarbij de wens om in te halen, kan worden gehonoreerd. Bij een als redelijk te aanvaarden verkeersdruk is voor deze wegbreedtecategorie de capaciteit $6.500 \text{ pae} \cdot \text{d}^{-1}$ ($= 5.500 \text{ mvt} \cdot \text{d}^{-1}$).

Ingeval van geringe wegbreedten (3,50 m) en de afwezigheid van bermen kan de aanleg van passeerkommen de capaciteit verhogen. Afhankelijk van de zichtlengte en de daarvan weer afhankelijke hart op hart afstand van de passeerkommen, kan de capaciteit op $1.000\text{-}1.500 \text{ mvt} \cdot \text{d}^{-1}$ worden gesteld, welke overeenkomt met die voor de 4,50 en 5,00 m brede wegen met bermen uit tabel 2.2.1. Hierbij moet wel worden bedacht dat de gemiddelde snelheid (van circa $30 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$) welke gereden kan worden relatief laag is ten gevolge van het veelvuldig remmen, wachten en optrekken.



Figuur 2.2.1.
Capaciteit van wegen op klei- en veengronden



Figuur 2.2.2.
Capaciteit van wegen op zandgronden.

Verkeersafwikkeling

De verkeersafwikkeling op een weg is de mate waarin stromen voertuigen zich onafhankelijk van elkaar kunnen voortbewegen. Als criterium voor de kwaliteit van de verkeersafwikkeling is de kruissnelheid gehanteerd (*Oenema*, 1981). De door de HCM bij de verkeersafwikkeling gehanteerde verhouding intensiteit/ capaciteit is voor plattelandswegen niet geschikt omdat het begrip capaciteit volgens de HCM niet overeenkomt met het op plattelandswegen gehanteerde begrip capaciteit (zie voorgaande paragraaf). De kruissnelheid als kwaliteit van de verkeersafwikkeling is bepaald voor personenauto's en vrachtauto's. De snelheden van de overige voertuigcategorieën zijn zo laag dat geen of nauwelijks beïnvloeding op hun snelheid wordt geacht plaats te vinden.

De factoren die van invloed zijn op de kwaliteit van de verkeersafwikkeling kunnen worden verdeeld in twee hoofdgroepen, te weten: wegkenmerken en verkeerskenmerken.

De *wegkenmerken* zijn nader te verdelen in:

- verhardingsbreedte;
- vrije baanbreedte;
- zicht langs de weg.

De *verkeerskenmerken* zijn nader te verdelen in:

- personenauto's;
- vrachtauto's/bussen;
- landbouwvoertuigen.

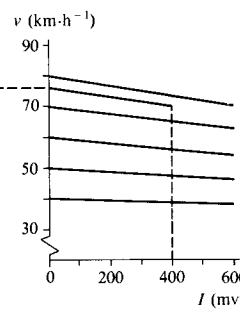
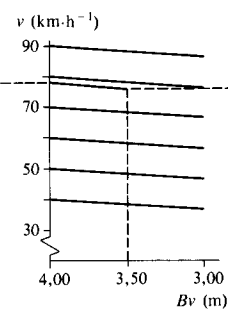
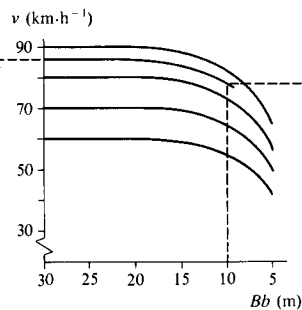
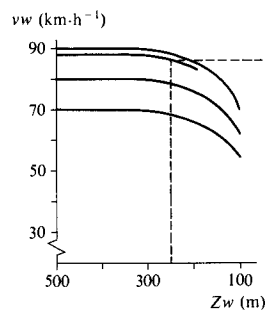
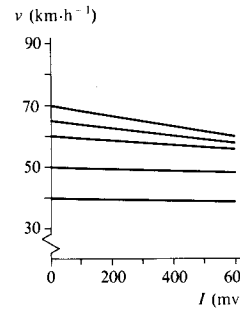
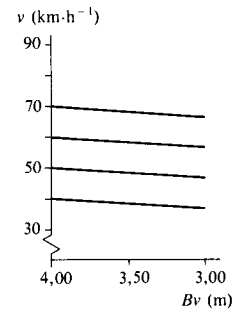
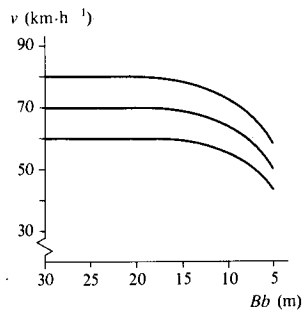
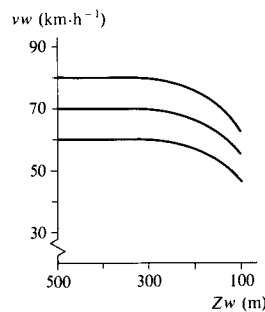
Met gebruik van de bovengenoemde weg- en verkeerskenmerken is een aantal nomogrammen (figuren 2.2.3, 2.2.4 en 2.2.5) ontwikkeld waaruit afgelezen kan worden in welke mate de kruissnelheid van een personen- of vrachtauto zich wijzigt onder invloed van de op een weg aanwezige weg- en verkeerskenmerken. In de nomogrammen zijn de verkeerskenmerken weergegeven door middel van de intensiteit ($\text{mvt} \cdot \text{d}^{-1}$). De drie genoemde verkeerskenmerken zijn gesommeerd weergegeven in het aantal $\text{mvt} \cdot \text{d}^{-1}$.

De onder ideale omstandigheden optredende kruissnelheid (als zodanig de wenssnelheid, v_w), dat wil zeggen bij een zichtlengte 400 m, vrije baanbreedte 30 m, wegbreedte 5,50 m en zeer geringe verkeersintensiteit, is voor personenauto's $88 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ en voor vrachtauto's $77 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$. Met behulp van de nomogrammen kan voor een bestaande situatie de kruissnelheid worden bepaald.

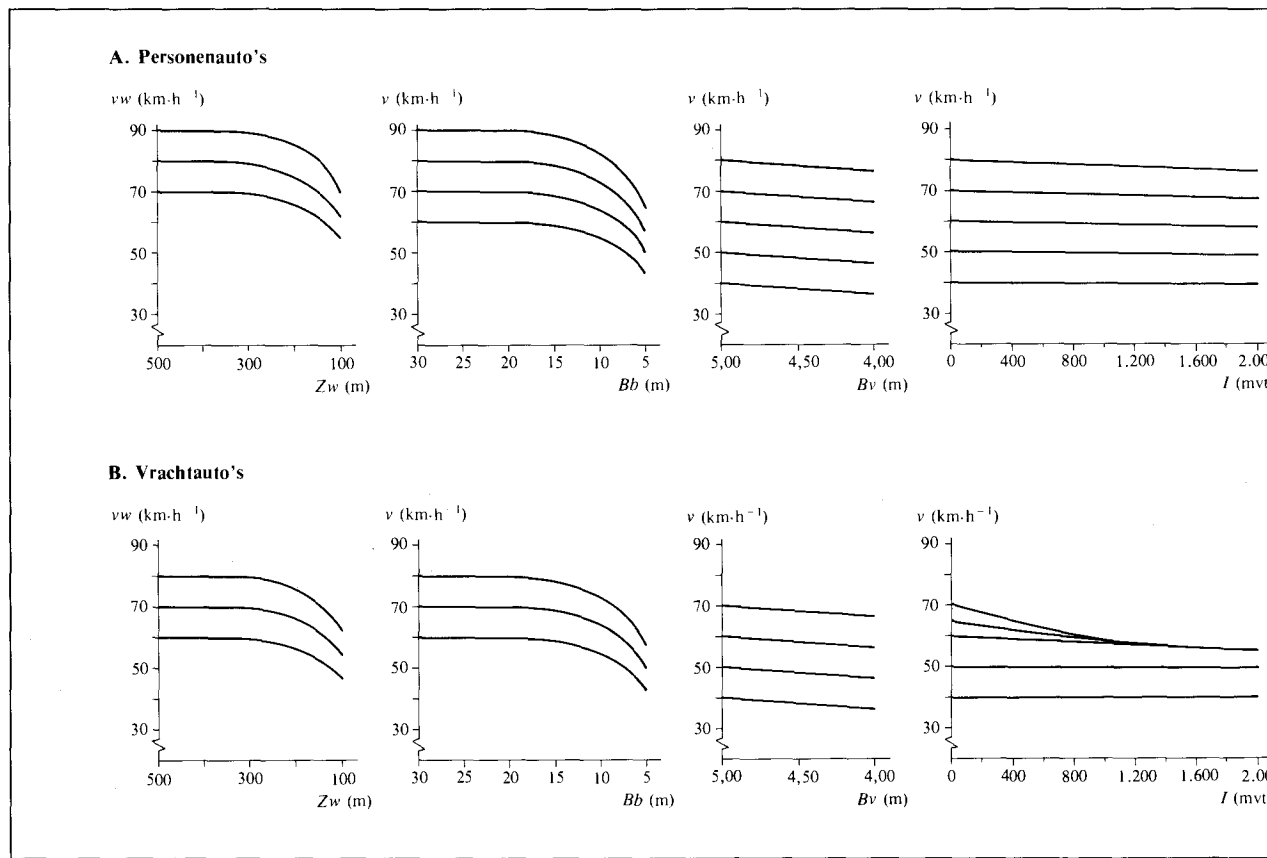
In figuur 2.2.3.A is een voorbeeld uitgewerkt met de volgende gegevens:

- personenauto;
- zichtlengte (Z_w) is 250 m;
- vrije baanbreedte (B_b) is 10 m;
- verhardingsbreedte (B_v) is 3,50 m;
- intensiteit (I) is $400 \text{ mvt} \cdot \text{d}^{-1}$.

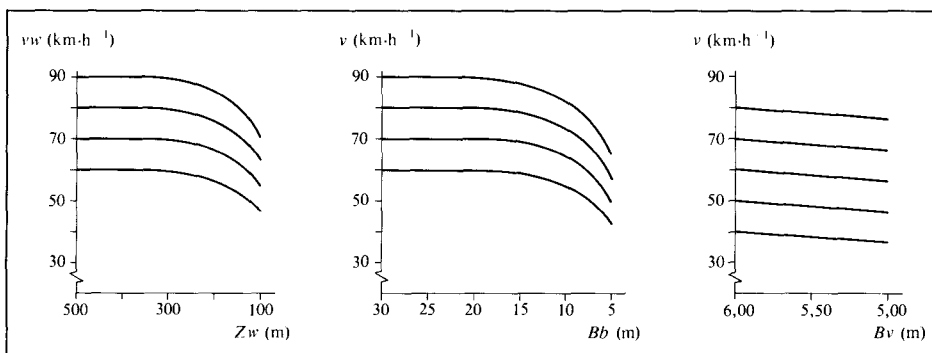
De kruissnelheid (v) in dit voorbeeld bedraagt $70 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$

A. Personenauto's**B. Vrachtauto's**

Figuur 2.2.3. Nomogram voor het bepalen van de kruissnelheid (v) van personenauto's (A) en van vrachtauto's (B) op plattelandswegen type 1 (vw = wenssnelheid, Z_w = zicht langs de weg, B_b is vrije baanbreedte, B_v = verhardingsbreedte, I = Intensiteit)



Figuur 2.2.4. Nomogram voor het bepalen van de kruissnelheid (v) van personenauto's (A) en van vrachtauto's (B) op plattelandswegen type 4 (vw = wenssnelheid, Zw = zicht langs de wegas, Bb is vrije baanbreedte, Bv = verhardingsbreedte, I = Intensiteit)



Figuur 2.2.5. *Nomogram voor het bepalen van de kruissnelheid (v) van personen- en vrachtauto's op platte-landswegen type 5. (vw = wenssnelheid, Zw = zicht langs de wegas, Bb = vrije baanbreedte, Bv = verhardingsbreedte).*

Na bepaling van de kruissnelheid dient nog een kwalificatie te worden uitgevoerd. Op basis van gegevens van vrachtvervoerders op het platteland is op bedrijfseconomische gronden tabel 2.2.2 voor vrachtauto's opgesteld.

Tabel 2.2.2. *Bedrijfseconomische waardering van het rijcomfort bij diverse kruissnelheden per wegbreedte voor vrachtauto's.*

Snelheid (km·h ⁻¹)	Wegbreedte (m)			
	3,50	4,50	5,50	
> 60	g	g	g	g = goed
55 - 60	g	g	a	a = aanvaardbaar
50 - 55	g	a	a	s = slecht
45 - 50	a	a	s	
40 - 45	a	s	s	
< 40	s	s	s	

Van het kwalificatieschema voor vrachtauto's is een schema voor personenauto's afgeleid. Dit heeft geresulteerd in tabel 2.2.3.

Tabel 2.2.3. *Bedrijfseconomische waardering van het rijcomfort bij diverse kruissnelheden per wegbreedte voor personenauto's.*

Snelheid (km·h ⁻¹)	Wegbreedte (m)			
	3,50	4,50	5,50	
> 70	g	g	g	g = goed
65 - 70	g	g	a	a = aanvaardbaar
60 - 65	g	a	a	s = slecht
55 - 60	a	a	s	
50 - 55	a	s	s	
< 50	s	s	s	

Geluidhinder

De Wet Geluidhinder stelt onder andere eisen aan de maximale geluidbelasting aan de gevel van woningen welke binnen een afstand van 250 m van de weg zijn gelegen. De wet is van toepassing indien de intensiteit thans of binnen 10 jaar hoger is of zal worden dan 2.450 mvt per etmaal. De gestelde grenswaarde voor de situatie waarbij een weg gereconstrueerd of aangelegd wordt, bedraagt 55 dB(A). Deze waarde is inclusief de toegestane correctiefactor vanwege de verwachting dat het wegverkeer in de toekomst stiller zal worden. Gedeputeerde Staten hebben de bevoegdheid om in uitzonderlijke situaties de gestelde grenswaarde voor buitenstedelijk gebied te verhogen of te verlagen (*Ministerie van Verkeer en Waterstaat*, 1983-1, 1983-2; *Ministerie van Volksgezondheid Ruimtelijke ordening en Milieuhygiëne*, 1984.)

Aanleg van fietspaden

Selectiecriteria

Door de Commissie Richtlijnen Ontwerp Niet-Autosnelwegen (RONA) zijn op basis van literatuurstudie voorlopige criteria opgesteld voor de aanleg van vrijliggende fietspaden. Hierbij is van de ontmoetingskans tussen fiets en auto uitgegaan.

Als grenswaarden om tot aanleg van een fietspad over te gaan is van 500 (brom-)fietsers per etmaal of 2.000 mvt per etmaal uitgegaan. Beide waarden mogen worden overschreden, mits het produkt van beide intensiteiten gecombineerd met een invloedsfactor groter is dan 500.000. Ook bij overschrijding van deze grens is het onder bepaalde plaatselijke omstandigheden nog zeer wel mogelijk de noodzaak van de aanleg van een fietspad te onderschrijven.

De RONA-criteria en de nog te behandelen prioriteitsbepaling voor de volgorde van aanleg van fietspaden worden door de Provinciale Waterstaten gehanteerd bij de opstelling van plannen voor de aanleg van fietspaden langs planwegen en niet-planwegen.

Prioriteitsbepaling

De methode is gebaseerd op de ontmoetingskans tussen beide onderscheiden voertuigsoorten. Hiertoe wordt een prioriteitsgetal bepaald en wel door vermenigvuldiging van de intensiteit (brom)fietsen met de intensiteit motorvoertuigen.

Het produkt wordt verhoogd met een invloedsfactor, welke bepaald wordt door het percentage vrachtverkeer en landbouwverkeer volgens tabel 2.2.4.

Tabel 2.2.4. Invloedsfactor prioriteitenbepaling voor aanleg van (brom-)fietspaden.

Percentage vrachtverkeer + landbouwverkeer (%)	Invloedsfactor
< 5	1,0
5 - 10	1,2
10 - 15	1,4
> 15	1,6

Hoewel de invloed van het percentage vracht- en landbouwverkeer geen onderwerp van studie is geweest bij het RONA-onderzoek naar de verkeersveiligheid in relatie met (brom)fietsers, lijkt het opnemen van deze invloedsfactor terecht. Met name de stabiliteit en manoeuvreerbaarheid van de fietsers wordt sterk beïnvloed door de aanwezigheid van vrachtauto's, bussen, landbouwvoertuigen en dergelijke.

In een formule weergegeven wordt het bovenstaande:

$$P_i = I_{mi} \times I_{fi} \times F_{vi} \quad (2.2.1)$$

waarin:

- P_i = prioriteitsgetal voor wegvak i
- I_{mi} = maatgevende etmaalintensiteit van motorvoertuigen op wegvak i
- I_{fi} = maatgevende etmaalintensiteit van (brom)fietsverkeer op wegvak i
- F_{vi} = invloedsfactor voor het vrachtverkeer op wegvak i .

In bovenstaande beschouwing wordt alleen de overweging gegeven om tot een beslissing over het al of niet aanleggen van een vrijliggend fietspad te komen zonder dat wordt ingegaan op de maatvoering ervan. Hiervoor wordt verwezen naar hoofdstuk V. 2.6.1.

2.3. Wegontwerp (geometrie)

2.3.1. Inleiding

De weg als onderdeel van een integraal plan

Het wegontwerp maakt onderdeel uit van de ontsluiting welke te zamen met de verkaveling, de waterhuishouding en de landschapsbouw tot de inrichtingsfactoren van het landelijk gebied behoren. Bij de planvorming in landinrichtingsprojecten wordt gestreefd naar een integratie van ontwerpelementen uit meerdere inrichtingsfactoren teneinde tot een evenwichtig en harmonieus plan te komen.

Bij het ontwerp van een weg staat voorop een voorziening tot stand te brengen welke gedurende de levensduur op soepele en veilige wijze aan zijn functies kan voldoen. Het wegontwerp wordt hiervoor getoetst aan eisen van constructieve en verkeerskundige aard, zoals onder meer sterkte, levensduur en onderhoud resp. verkeersveiligheid, verkeersafwikkeling en gebruik.

In het ontwerp-proces van wegen wordt vanouds reeds gebruik gemaakt van kennis, ervaring en onderzoek teneinde de beoogde functies van constructieve en verkeerskundige aard in het wegontwerp tot uitdrukking te brengen. Vanaf het begin van de zeventiger jaren zijn activiteiten ontplooid om meer uniformiteit en eenduidigheid te verkrijgen bij het ontwerpen van de niet-autosnelwegen. Dit vond plaats onder verantwoordelijkheid van de zogeheten *Commissie Richtlijnen Ontwerp Niet-Autosnelwegen* (1983.).

Een werkgroep binnen deze Commissie RONA is actief teneinde de bestaande kennis, ervaring en onderzoek omtrent het ontwerpen van wegen in het landelijk gebied te bundelen en te komen tot een systematische beschrijving ervan. Dit heeft geleid tot een reeks aanbevelingen specifiek gericht op het ontwerpen van Wegen In PlattelandsGebieden; de zogeheten voorlopige Richtlijnen RONA-WIPG (*Commissie Richtlijnen Ontwerp Niet-Autosnelwegen*, 1986). In deze vraagbaak zijn bovengenoemde aanbevelingen in verkorte vorm verwerkt.

In de praktijk kan het bij de planvorming gebeuren dat realisering van een plan niet mogelijk is zonder af te wijken van één of meer per inrichtingsfactor geformuleerde uitgangspunten. Dit kan ertoe leiden dat deze vraagbaak niet of slechts ten dele kan worden gevolgd.

Afmetingen en gewicht voertuigen

Bij het ontwerpen van plattelandswegen met de bijbehorende kunstwerken moet ervan worden uitgegaan, dat er geen beperkingen worden gesteld aan de belasting en de afmetingen van de voertuigen, een en ander uiteraard binnen het raam van de wettelijke bepalingen.

Aangezien het gebruik van bepaalde voertuigen gebiedsspecifiek kan zijn, dient bij een wegontwerp hiermee rekening te worden gehouden.

Rijgedrag

Het rijgedrag van de mens hangt af van zijn ervaring, de aanwezige weg- en verkeerssituaties (verschijningsvorm van de weg, aard en omvang van het verkeer) en de verwachting over het voorkomen van deze situaties. Situaties die de verkeersdeelnemer dikwijls ontmoet, leiden tot een vergroting van de ervaring en een bepaalde verwachting over aanwezige weg- en verkeerssituaties. Een verwachting ontstaat eveneens over de wijze van reageren van de overige verkeersdeelnemers op de aanwezige weg- en verkeerssituaties. Op het verwachte rijgedrag van de overige verkeersdeelnemers kan de betreffende verkeersdeelnemer weer reageren, terwijl door hem slechts adequaat gereageerd kan worden op het zichtbare rijgedrag van de overige verkeersdeelnemers. Naarmate nu het verschil tussen verwacht en gerealiseerd rijgedrag groter is, wordt de kans op ongevallen groter. Dit geldt ook voor een verschil tussen verwachte en aanwezige weg- en verkeerssituaties.

Inperking van het aantal situaties leidt tot een snellere herkenbaarheid en daarmee tot minder diversiteit in rijgedrag. Hierdoor wordt een betere voorspelling van het rijgedrag mogelijk, hetgeen naar verwachting een veiliger verkeersafwikkeling tot gevolg heeft.

Vorm en functies van plattelandswegen

Het bestaande plattelandswegennet kent ten gevolge van de lange en uiteenlopende ontstaansgeschiedenis enorme verschillen in voorkomen.

Men denke hierbij aan de holle wegen in het Zuid-Limburgse landschap, het dichte wegengstelsel op de zandgronden in Brabant en Gelderland of aan de smalle en kronkelige dijkwegen in Friesland en Zeeland en aan de ijle wegenstructuur in en rond de veenweidegebieden in Noord- en Zuid-Holland. Deze verschillen in voorkomen leiden ertoe dat de op het plattelandsnet aanwezige wegkenmerken een grote verscheidenheid vertonen.

Het plattelandswegennet wordt gebruikt door een groot aantal verkeersmiddelen variërend van personenauto's tot uiteenlopende landbouwvoertuigen, alsmede (brom)fietsen, voetgangers en vee. Ten gevolge hiervan kennen deze wegen niet alleen een grote verscheidenheid aan verkeerskenmerken, doch tevens verdragen de verkeersmiddelensoorten elkaar soms moeilijk als gevolg van onderling sterk uiteenlopende rijeigenschappen. Zo hebben fietsers, personenauto's en landbouwvoertuigen geheel verschillende mogelijkheden en beperkingen voor wat betreft de snelheid, het ruimtegebruik en de rijeigenschappen.

Ook heeft het plattelandswegennet nogal eens te maken met een combinatie van functies die elkaar eveneens moeilijk verdragen.

Op een plattelandsweg waar de ontsluitingsfunctie voor de aanliggende percelen overheerst is het rijgedrag sterk plaatsgericht, waarbij gestreefd wordt naar het vlot en veilig kunnen plaatsvinden van de verkeersbewegingen tussen weg en percelen.

Op plattelandswegen welke een taak voor doorgaand verkeer hebben en dientengevolge meer een verkeersstroomfunctie hebben, overheerst een meer routegericht rijgedrag waarbij gestreefd wordt naar het vlot en veilig met een bepaalde snelheid kunnen rijden. Op basis van de in aanhef genoemde geografische verschillen is het zonder enorme ingrepen vaak niet haalbaar het aantal op plattelandswegen voorkomende wegkenmerken te reduceren.

Ontwerpsnelheden

Bij het toepassen van ontwerpsnelheden voor plattelandswegen moet onderscheid gemaakt worden naar de functie van de weg en daarmee naar de naar verwachting voorkomende spreiding in snelheden, welke op deze wegen gerealiseerd kunnen worden. Bij het begrip ontwerpsnelheid wordt uitgegaan van de snelheid die maatgevend is voor de vormgeving van de weg en de ontwerpelementen, zodat bestuurders van afzonderlijke voertuigen, niet gehinderd door overig verkeer, bij die snelheid veilig kunnen rijden. Als standaardconditie wordt van een nat wegdek uitgegaan.

Naarmate de spreiding in snelheden groter wordt, worden ook de verschillen in rijgedrag groter. Het is niet zinvol bij wegen waar de ontsluitingsfunctie overheerst, uit te gaan van een ontwerpsnelheid omdat hiermee bij de weggebruiker verwachtingen worden gewekt over een bepaald rijgedrag met bijbehorende snelheden, waarbij de spreiding in snelheden uit het oog verloren wordt.

Bij wegen met een overwegende verkeersstroomfunctie is, alhoewel rekening moet worden gehouden met de uiteenlopende aard en diversiteit van vervoermiddelen, toch meer eenheid in snelheden te verwachten waardoor het wel mogelijk is van ontwerpsnelheden uit te gaan.

Voor wegen met een duidelijke stroomfunctie kan van een ontwerpsnelheid van ten hoogste $60 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ worden uitgegaan.

2.3.2. RONA

De categorisering van plattelandswegen

In het voorgaande is reeds ingegaan op de functie en functiecombinaties die plattelandswegen vervullen. Voorop staat daarbij de functie voor het landelijk gebied.

Het plattelandswegenet vervult een taak als onderdeel van een totale wegenstructuur, te weten de verdeel-verkeersfunctie voor kort afstandsverkeer in het landelijk gebied en de verkeersfunctie om verkeer dat over langere afstanden afgewikkeld wordt zo snel mogelijk naar het planwegenet af te voeren en omgekeerd.

Door zijn aard en opbouw is het totale wegenet in Nederland te categoriseren en naar rangorde in te delen.

Hiervoor zijn de betreffende activiteiten, zoals reeds is aangehaald in par. V. 2.3.1, in RONA-verband ontplooid (*Commissie Richtlijnen Ontwerp Niet-Autosnelwegen*, 1983). Het wegenet is daarbij in 4 hoofdcategorieën te onderscheiden, te weten:

- categorie A, de autosnelwegen;
- categorie B, de autowegen;
- categorie C, de wegen met een geheel of gedeeltelijk gesloten verklaring;
- categorie D, de wegen voor alle soorten verkeer.

Binnen elke hoofdcategorie is een tweedeling als onderverdeling aangebracht: AI, AII, BIII, BIV, CV, CVI, DVII en DVIII.

De plattelandswegen vallen in een beperkt aantal gevallen onder de categorie CVI doch voor het overgrote deel in de categorieën DVII en DVIII.

Wegen behorend tot de categorie CVI hebben een functie voor lokaal verkeer en hebben uit dien hoofde een verkeersfunctie. Als ontwerpsnelheid wordt van $60 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ uitgegaan. De hoofdrijbaan van wegen behorend tot deze categorie is altijd gesloten voor (brom)fietzers en voetgangers en soms ook voor overig langzaam verkeer.

De ontsluiting van kavels en percelen zal veelal rechtstreeks op deze categorie van wegen plaatsvinden.

Binnen hoofdcategorie D vallen de wegen welke opengesteld zijn voor alle verkeersdeelnemers. Ten opzichte van wegen uit hoofdcategorie C is de verkeersfunctie van D-wegen uit deze hoofdcategorie geringer en de ontsluitingsfunctie groter.

Afhankelijk van de verhouding tussen verkeersfunctie en ontsluitingsfunctie wordt onderscheid gemaakt naar categorieën VII en VIII.

Wegen uit categorie VII hebben een overwegend ontsluitende functie en een geringe verkeersfunctie. Deze wegen kunnen ook een functie voor recreatieverkeer hebben, terwijl ook het openbaar vervoer van deze wegen gebruik kan maken. De categorie VII-weg kenmerkt zich voorts door een verharde breedte die ontoereikend is om voor bepaalde voertuigcategorieën passeerbewegingen op de verharding toe te laten.

De categorie VII-weg is toegankelijk voor alle verkeer en bij aanleg van nieuwe wegen wordt van een ontwerpsnelheid uitgegaan van $60 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ of minder.

Bij reconstructies van wegen dient ten aanzien van de ontwerpsnelheid de nadruk te liggen op harmonisatie van de reeds aanwezige weg- en verkeerskenmerken. Ontsluiting van kavels en percelen vindt rechtstreeks op deze categorie wegen plaats.

Wegen uit categorie VIII hebben louter een functie voor de ontsluiting. Voorts kenmerkt deze weg zich door de aanwezigheid van tweerichtingsverkeer op een rijbaan, welke onvoldoende breedte heeft voor twee onderscheiden rijstroken waardoor er sterke beïnvloeding van tegemoetkomend verkeer plaatsvindt. In verband met de ontsluitingsfunctie is het snelheidsaspect ondergeschikt aan de toegankelijkheid van deze wegen, waardoor gebruik maken van ontwerpsnelheden, zoals reeds is aangegeven in par. V. 2.3.1, niet gewenst is.

Het ontwerp van wegen in deze categorie moet zodanig zijn dat het de weggebruiker duidelijk is dat op deze wegen de verkeersfunctie ondergeschikt is aan de ontsluitings- en andere functies. Dit geldt met nadruk voor situaties waar sprake is van een overgang van een hogere categorie naar categorie VIII.

Het onderscheid tussen de wegcategorieën VI, VII en VIII, voor de weggebruikers van belang om hun rijgedrag te kunnen aanpassen aan de te verwachten weg- en verkeerssituaties, komt voornamelijk tot uitdrukking in de verhardingsbreedte in combinatie met de eventueel aanwezige markering.

Voor deze drie wegcategorieën wordt als verhardingsbreedte respectievelijk 6,00 m, 4,50 m en 3,50 m aanbevolen.

Verband tussen de RONA categorisering en de indeling plattelandswegen

Voor plattelandswegen wordt een indeling gehanteerd die gebaseerd is op het indelen van bestaande wegen in een aantal klassen van verhardingsbreedten. Gestreefd wordt naar een beperkt aantal verhardingsbreedten bij aanleg.

Zo worden een vijftal typen onderscheiden:

- type 1 : de onverharde weg;
- type 2 : de weg met een verharde breedte van 2,00 m tot 3,00 m;
- type 3 : de weg met een verharde breedte van 3,00 m tot 4,00 m;
waarbij als na te streven verhardingsbreedte van 3,50 m wordt uitgegaan;
- type 4 : de weg met een verharde breedte van 4,00 m tot 5,00 m;
waarbij als na te streven verhardingsbreedte van 4,50 m wordt uitgegaan;
- type 5 : de weg met een verharde breedte van 5,00 m tot 5,50 m;
waarbij als na te streven verhardingsbreedte van 5,50 m wordt uitgegaan.

Type 3 komt overeen met de RONA-categorie VIII, terwijl de typen 4 en 5 onderdeel uitmaken van de RONA-categorie VII.

De overweging om te komen tot beperking van de in de praktijk voorkomende verscheidenheid aan wegbreedten vloeit, naast bundeling van wegen naar functie, voort uit het streven om aan de bestuurders van de verschillende categorieën voertuigen duidelijkheid te verschaffen welk rijgedrag wel en welk rijgedrag absoluut niet mogelijk is.

In de navolgende ontwerpelementen wordt bij de gepresenteerde tabellen naast de verschillende wegtypen tussen haakjes de betreffende RONA-categorie vermeld.

2.3.3. Aligment

Het tracé en het lengteprofiel bepalen te zamen het ruimtelijk aspect van een weg. Bij de aanleg van plattelandswegen in vlak gebied hoeft aan deze samenhang in het algemeen geen bijzondere aandacht te worden besteed. Bij wegeaanleg in geaccidenteerd terrein verdient de ruimtelijke belijning echter nadere beschouwing om te voorkomen dat visueel misleidende of minder fraaie oplossingen worden gekozen.

De daartoe geschikte maatregelen zijn doorgaans van eenvoudige en weinig kostbare aard. Bestudering daarvan wordt aanbevolen voor de wegtypen 4 en 5 (cat. VII) en indien het gaat om voor de recreatie van belang zijnde wegen in landschappelijk waardevolle gebieden, eveneens voor het wegtype 3 (cat. VIII).

Zichtafstand

Rijzicht

Het rijzicht is de afstand die een weggebruiker in de rijrichting voor zich uit moet kunnen overzien om het proces van waarnemen, anticiperen en reageren op de informatie als markeringen, bebakening, verkeerstekens en dergelijke rustig en comfortabel te kunnen voltooien. De hiervoor benodigde tijd bedraagt gemiddeld 9 seconden. Het rijzicht geeft een zekere mate van comfort. Op wegen met een relatief belangrijke functie (doorstro-

ming) is dit comfort noodzakelijk. Op wegen van de laagste categorieën is een zekere mate van discomfort toelaatbaar en in sommige gevallen zelfs gewenst, teneinde het gewenste rijgedrag ook in de praktijk zoveel mogelijk te benaderen.

Rijzicht voor wegen met een ontwerpsnelheid van minder dan $60 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ dient alleen te worden toegepast wanneer er sprake is van een belangrijke discontinuïteit. In het algemeen kan op dergelijke wegen met stopzicht worden volstaan. Wel dient in dat geval het stopzicht op basis van de snelheid op het wegvak vóór de discontinuïteit te worden toegepast.

In tabel 2.3.1 zijn de waarden voor het rijzicht met bijbehorende snelheden gegeven.

Tabel 2.3.1. Rijzicht bij verschillende snelheden.

Snelheid (bij een reactietijd van 9 sec.) ($\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$)	Rijzicht (m)
30	75
40	100
50	125
60	150
70	175
80	200

Stopzicht

Het stopzicht is de afstand waarover de weggebruiker de weg moet kunnen overzien om een obstakel te kunnen waarnemen, herkennen en zijn voertuig tot stilstand te brengen voor het obstakel (remweg). Deze afstand wordt bepaald door de tijd nodig voor het waarnemen, de reactie en de remweg. De tijd voor het waarnemen en de reactie, perceptie-reactietijd geheten, verschilt per individu en is afhankelijk van de weg en de omgeving. Voor onverwachte gebeurtenissen moet voor het berekenen van het stopzicht een perceptie-reactietijd van 2 seconden worden aangehouden. Er kunnen omstandigheden zijn waarin de weggebruiker vroegtijdig van veranderingen op de hoogte wordt gebracht door bijvoorbeeld toepassing van voorwaarschuwingen. In die gevallen kan met een perceptie-reactietijd van 1 seconde worden volstaan. In tabel 2.3.2 worden enige waarden voor het stopzicht bij verschillende snelheden gegeven.

Bij kruispunten waarbij de voorrang geregeld wordt, is er onderscheid naar hoofdrichting en ondergeschikte richting. Voor de hoofdrichting wordt een perceptie-reactietijd aangehouden van 2 seconden. Voor de berekening van het stopzicht nabij kruispunten op de ondergeschikte weg wordt ervan uitgegaan dat de snelheid van het verkeer op stopzichtsafstand driekwart van de ontwerpsnelheid van het toeleidende wegvak bedraagt ($V = 3/4 V_0$). Voor het vaststellen van deze stopzichtsafstanden kan gebruik worden gemaakt van tabel 2.3.3.

De stopzichtsafstanden met een perceptie-reactietijd van 2 seconden zijn van toepassing bij kruisingen waar de voorrang niet met borden is geregeld.

Tabel 2.3.2. Stopzicht bij een perceptie-reactietijd van 1 en 2 sec. bij verschillende snelheden.

Snelheid $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$	Stopzicht (m)	
	$\text{prt}^* = 1 \text{ sec.}$	$\text{prt}^* = 2 \text{ sec.}$
30	17	25
40	26	35
50	38	50
60	50	65
70	67	85
80	85	105

* prt = perceptie-reactietijd

Tabel 2.3.3. Stopzicht nabij kruispunten bij een perceptie-reactietijd van 1 en 2 sec. bij verschillende snelheden.

Snelheid V_0 (toeleidende wegvak) ($\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$)	Stopzicht (m)	
	Hoofdrichting $\text{prt}^* = 2 \text{ sec.}$ $V = V_0$	Ondergeschikte richting $\text{prt}^* = 1 \text{ sec.}$ $V = 3/4 V_0$
30	25	11
40	35	17
50	50	24
60	65	32
70	85	41
80	105	50

* prt = perceptie-reactietijd

Inhaalzicht

Het inhaalzicht is de afstand waarover een weggebruiker de voor hem liggende weg moet kunnen overzien om op veilige wijze een voertuig te kunnen inhalen.

Als maatgevende situatie voor het bepalen van het inhaalzicht op categorie VI-wegen wordt uitgegaan van een voertuig met een snelheid van $60 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ (ontwerpsnelheid) dat wordt ingehaald door een ander voertuig.

Met inachtneming van de lengten van de betrokken voertuigen en een zekere tussenruimte tussen beide voertuigen op het moment waarop de inhaalmanoeuvre wordt ingezet en het moment waarop deze wordt beëindigd, bedraagt het benodigde inhaalzicht 420 m.

De snelheid van een eventuele tegenligger, die mede bepalend is voor het benodigde inhaalzicht, is eveneens op $60 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ gesteld.

Op grond van de functies van de wegtypen 4 en 5 (cat. VII) zijn inhaal mogelijkheden niet direct noodzakelijk en in een aantal gevallen, afhankelijk van voertuig en of verhardingsbreedte, niet aanwezig. Het is daarom niet direct noodzakelijk dat snelverkeer elkaar op deze wegtypen kan inhalen.

Het verdient evenwel aanbeveling om bij het ontwerp rekening te houden met inhaalmanoeuvres van snelverkeer ten opzichte van langzaam rijdende voertuigen.

Als maatgevende situatie voor het bepalen van het inhaalzicht wordt daarom uitgegaan van een langzaam rijdend voertuig ($V = 20 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$) dat door snelverkeer wordt ingehaald. De snelheid van een eventuele tegenligger wordt wederom gesteld op $60 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$. Het in deze situatie benodigde inhaalzicht bedraagt 350 m.

Oprijzicht

Alvorens een kruisingsvlak op te rijden moet het verkeer op de zijweg voldoende uitzicht worden geboden om de aanwezigheid en de snelheid van het verkeer op de hoofdweg te kunnen bepalen.

Onder oprijzicht wordt verstaan het uitzicht dat een op de zijweg wachtende bestuurder moet hebben, om te kunnen bepalen of de door hem gewenste beweging veilig en zonder hinder voor het verkeer op de hoofdweg kan worden uitgevoerd.

Het oprijzicht moet aanwezig zijn op minimaal 5,00 m voor de kant van de verharding of kantstreep van de hoofdweg. In dit oprijzicht mogen geen obstakels voorkomen die de waarneming bemoeilijken.

In tabel 2.3.4 wordt het verband gegeven tussen de naderingssnelheid van verkeer op de hoofdweg en het minimaal benodigde oprijzicht vanaf de zijweg.

Tabel 2.3.4. Oprijzicht bij verschillende snelheden.

Snelheid ($\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$)	Oprijzicht (m)
30	75
40	75
50	80
60	100
70	125
80	150

Indien langs de weg vrijliggende fietspaden zijn gelegen, welke in de voorrangsregeling zijn opgenomen, dient ook vanaf de zijweg voldoende uitzicht (oprijzicht) op de fietspaden te bestaan, vergelijkbaar met het hiervoor beschreven oprijzicht.

In verband met een hogere naderingssnelheid van bromfietzers dient het oprijzicht op 5,00 m voor de fietsoversteekplaats minimaal 75 m te bedragen vanaf de zijweg op het fietspad. Bij een eenzijdig, in twee richtingen bereden fietspad moet hieraan bijzondere aandacht worden besteed. Vandaar dat als minimum waarde in de tabel 75 m wordt aangehouden.

Indien de voorrang voor het langzaam verkeer op langs de categorie VI gelegen fietspaden wordt onderbroken dient het oprijzicht voor de (brom)fietser vanaf het fietspad op de zijweg voldoende te zijn.

Rechtstanden

In zijn algemeenheid wordt ontraden rechtstanden bij een wegontwerp toe te passen. Als gevolg van verkavelingspatronen of ligging naast watergangen of spoorlijn is het bij lagere categorieën wegen niet te vermijden rechtstanden toe te passen. Lange rechtstanden geven aanleiding tot hoge rijsnelheden hetgeen niet in overeenstemming is met de functie van deze wegen. Indien lange rechtstanden onvermijdelijk zijn dienen aanvullende maatregelen te worden getroffen. Te denken valt hierbij aan visuele vernauwingen door middel van bermbeplanting, toepassing van bebording of gebruik maken van hoogteverschillen in het terrein.

Hellingen

In verband met de vlakke ligging van nagenoeg geheel Nederland kunnen steile hellingen veelal worden vermeden. In heuvelachtige delen van het land of ter plaatse van ongelijkvloerse kruisingen is dit echter uit economische en/of landschappelijke overwegingen niet altijd mogelijk. Voor zover het agrarisch voertuigenpark in zulke gebieden, wat de verhouding motorvermogen/gewicht betreft, hieraan niet is aangepast, zal in extreme gevallen een geringere belading van de voertuigen noodzakelijk zijn.

In tabel 2.3.5 zijn maximale hellingen ($S_{\max}$) aangegeven voor elk van de 5 wegtypen, afhankelijk van de geaccidenteerdheid van het terrein.

Tabel 2.3.5. Maximale hellingen ($S_{\max}$) voor verschillende wegtypen in vlak terrein en in heuvelland.

Plattelandsweg type	$S_{\max}$ in %	
	vlak terrein	heuvelland
1*/2	7	8
3 (VIII)	7	8
4 (VII)	6	7
5 (VII)	5	6
(VI)	3	6

* Bij grotere hellingen dient bijzondere aandacht te worden geschonken aan de kans op uitspoeling.

Afrondingsstralen

Weggedeelten met onderling verschillende hellingen dienen te worden verbonden door verticale bogen. Deze worden uitgevoerd als cirkelboog. De wenselijke afrondingsstraal aan de top van een helling is afhankelijk van V_0 en wel zodanig, dat steeds voldoende stopzicht aanwezig moet zijn ten opzichte van stilstaande obstakels van geringe hoogte.

Voorts dienen bestuurders van elkaar tegemoet rijdende voertuigen elkaar zo tijdig te kunnen opmerken, dat remmen en uitwijken nog mogelijk is. Dit laatste is vooral van belang bij wegen met geringe verhardingsbreedte (wegtype 3, cat. VIII). Indien in topbogen verbredingen worden aangebracht, wordt het stopzicht ten opzichte van stilstaande voertuigen weer maatgevend.

Op inhaalzicht hoeft niet te worden gerekend. In tabel 2.3.6 zijn voor de verschillende waarden van V_o de aanbevolen en minimumwaarden voor de straal van topafrondingen (R_v) voor aan te leggen wegen aangegeven.

Tabel 2.3.6. Verticale afrondingsstralen aan de top van een helling bij verschillende ontwerpsnelheden.

Ontwerpsnelheid, V_o ($\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$)	Aanbevolen verticale afrondingsstraal, R_v (m)	Minimale verticale afrondingsstraal, R_v (m)
30	200	185
40	400	375
50	800	750
60	1.500	1.250
70	2.500	2.150
80	3.500	3.200

De aangegeven waarden zijn aanbevolen afrondingsstralen, overschrijding van deze waarden om redenen van natuur, landschap en dergelijk is mogelijk.

Gezien het gestelde in het voorgaande dat voor de breedtecategorie 5,00-6,00 m (cat. VII) een ontwerpsnelheid van $\leq 60 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ kan worden aangenomen, zijn de waarden van 70 en $80 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ informatief.

De afrondingsstraal aan de voet van een helling wordt niet bepaald door zichtbaarheidseisen. Om redenen van esthetica en comfort verdient het aanbeveling deze straal ten minste even groot te maken als aan de top van een helling, maar zo mogelijk tweemaal zo groot.

Bogen en overgangsbogen

Bochten in plattelandswegen zullen in het algemeen worden uitgevoerd als cirkelbogen. De minimaal toelaatbare boogstralen zijn een functie van de ontwerpsnelheid, de wrijvings eigenschappen van band en wegdek en de verkanting.

De wrijvingscoëfficiënt is afhankelijk van de toestand van het wegdek en van de snelheid waarmee wordt gereden. De verkanting kan variëren tussen 2% (minimum in verband met de afvoer van hemelwater) en 5% (maximum in verband met het afglijden naar de binnenkant van de boog). Het aanbrengen van een negatieve verkanting - benedenwaartse helling naar buitenzijde van de boog gericht - wordt ontraden.

Gegeven de ontwerpsnelheid, de daarbij behorende wrijvingscoëfficiënt en de verkanting, kan de toe te passen minimum boogstraal worden berekend met behulp van de formule:

$$R_h = \frac{V_o^2}{3,6^2 g \left(\frac{i}{100} + f_z \right)} \quad (\text{m}) \quad (2.3.1)$$

waarin:

R_h	=	boogstraal	(m)
V_o	=	ontwerpsnelheid	(km · h ⁻¹)
g	=	versnelling zwaartekracht	(m · s ⁻²)
i	=	verkanting	(-)
f_z	=	wrijvingscoëfficiënt.	(-)

In tabel 2.3.7 zijn de toe te passen minimum boogstralen opgenomen voor verschillende ontwerpsnelheden en de minimum en maximum verkanting.

Tabel 2.3.7. Minimum boogstralen, ($R_{\min}$) voor verschillende ontwerp snelheden, V_o bij de minimum en maximum verkanting.

V_o (km · h ⁻¹)	f_z	$R_{\min}$ (m)	
		2% verkanting	5% verkanting
30	0,20	32	28
40	0,19	60	52
50	0,18	100	85
60	0,17	150	130
70	0,16	215	185
80	0,15	300	250

Bij wegcategorieën VI en wegtypen 4 en 5 (cat. VII) worden overgangsbogen toegepast bij bogen met $R < 750$ m. Bij de lagere wegtypen worden geen overgangsbogen toegepast. Als overgangsboog wordt in het algemeen de clothoïde toegepast.

Verkanting

Ter compensatie van de middelpuntvliedende kracht wordt in bogen met beperkte straal een verkanting toegepast. De vereiste verkanting wordt bepaald door de ontwerpsnelheid en de beschikbare wrijvingscoëfficiënt (f_z) in dwarsrichting. In verband met de grotere kans op vervuiling bij de wegen met geringe ontwerpsnelheid is daar een lagere waarde voor de wrijvingscoëfficiënt aangehouden dan voor sneller te berijden wegen.

De verkanting wordt zodanig gekozen dat de bogen bij de ontwerpsnelheid zoveel mogelijk wrijvingsloos worden doorlopen. De wijze waarop de verkanting wordt vastgesteld is weergegeven in tabel 2.3.8.

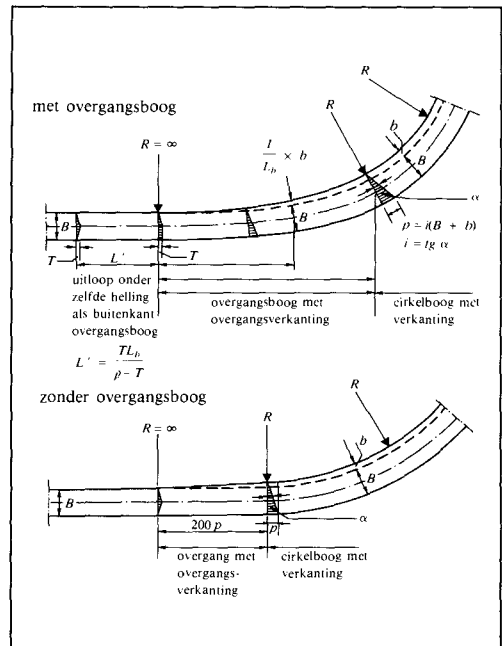
De verkanting (i) wordt uitgedrukt als de tangens van de hellinghoek α van het wegdek. De verkanting wordt aangebracht over de volle lengte van de cirkelboog en de volle breedte van de verharding (dus inclusief de eventuele bochtverbreding).

Tabel 2.3.8. Verkanting, ($i = \operatorname{tg} \alpha$) in relatie tot de ontwerpssnelheid (V_0), de wrijvingscoëfficiënt (f_z) en de boogstraal (R_h).

V_0 $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$	f_z	R_h in m	i	R_h in m	i	R_h in m	i
30	0,1	30 - 200					
40	0,1	60 - 200	0,04	200 - 400	$8/R_h$	400 - 1.000	0,02
50	0,15	90 - 400	0,05	400 - 1.000	$20/R_h$	1.000 - 2.000	0,02
60	0,15	130 - 600	0,05	600 - 1.500	$30/R_h$	1.500 - 3.000	0,02
70	0,15	185 - 800	0,05	800 - 2.000	$40/R_h$	2.000 - 4.000	0,02
80	0,2	240 - 830	0,06	830 - 2.500	$50/R_h$	2.500 - 4.000	0,02

De verkanting wordt verkregen door verhoging van de buitenkantlijn van de verharding; de binnenkantlijn wordt ten opzichte van het normale profiel niet in hoogteligging gewijzigd. Bij toepassing van overgangsbogen vindt de overgang van het normale naar het verkante dwarsprofiel plaats over de lengte van de overgangsbog met dien verstande, dat aan het begin van de overgangsbog de weghelft in de buitenbocht horizontaal ligt. Indien geen overgangsbogen worden toegepast, wordt de verkanting aangebracht over een lengte gelijk aan $200 \times$ de verhoging van de buitenbocht p , waarin $p = i(B + b)$ zoals aangegeven in figuur 2.3.1.

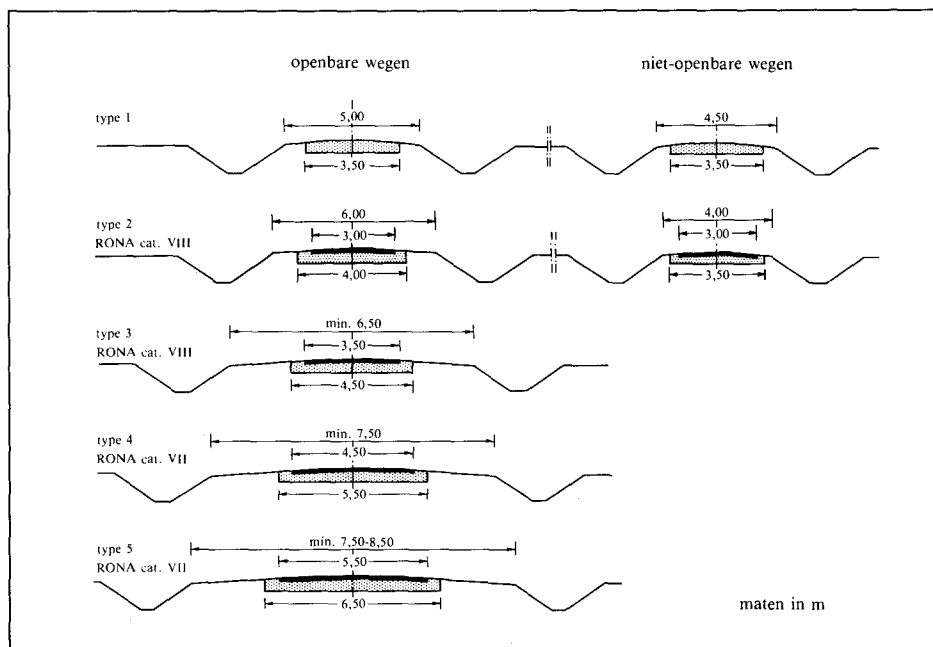
Figuur 2.3.1.
Verloop van bochtverbreiding en verkanting.



2.3.4. Dwarsprofiel

Normaal-dwarsprofielen

In figuur 2.3.2 zijn normaal-dwarsprofielen voor elk der 5 typen aangegeven. De voornaamste maten zijn tevens vermeld in tabel 2.3.9. Deze profielen en maten zijn bedoeld voor nieuw aan te leggen wegen. Er is geen rekening gehouden met ruimten voor beplantingen en fiets- of ruiterpaden. De hiervoor te bestemmen extra breedte is beschreven in de hierna volgende paragraaf "Ruimte voor beplantingen" en in hoofdstuk V. 2.6.



Figuur 2.3.2. Normaal dwarsprofielen plattelandswegen (zonder beplanting en fietspaden).

Bij de verbetering van bestaande wegen dienen de aangegeven maten eveneens te worden nagestreefd, maar het kan noodzakelijk zijn op één of meer onderdelen hiervan af te wijken. Vooral bij het handhaven van aanwezige beplantingselementen kan dit het geval zijn. De verkeersveiligheid (bermvrrees, uitzicht en dergelijke) mag hierbij echter niet uit het oog worden verloren.

In tabel 2.3.9 wordt, zoals reeds in par. V. 2.3.2 is verwoord, de koppeling gelegd tussen de door de Landinrichtingsdienst gehanteerde indeling van plattelandswegen en de RONA categorieën. Volledigheidshalve is categorie VI toegevoegd alhoewel dit wegtype praktisch niet in het plattelandswegennet voorkomt.

Voorts beperkt de RONA-categorie-indeling zich tot het verharde wegennet (*Commissie Richtlijnen Ontwerp Niet-Autosnelwegen*, 1986).

Tabel 2.3.9. Afmetingen normaal dwarsprofiel voor aan te leggen wegen.

RONA categorie	Plattelands-type	Verhardings-breedte <i>B</i> (m)	Minimale funderings-breedte (m)	Minimale kruin-breedte (m)
	1	-	3,50	5,00
D VIII	2	3,00	4,00	6,00
	3	3,50	4,50	6,50
D VII	4	4,50	5,50	7,50
	5	5,50	6,50	8,50
D VI		6,00	7,00	9,00

Zoals reeds in de paragraaf ten aanzien van het rijgedrag werd aangegeven, wordt bij de RONA categorie-indeling gestreefd naar inperking van het aantal wegkenmerken c.q. het aantal voorkomende verhardingsbreedten. Dit om bij de weggebruiker de duidelijkheid en daarmee de herkenbaarheid over wat op bepaalde wegbreedten wel en niet aan rijgedrag mogelijk is, te doen vergroten.

Zo is het voor weggebruikers duidelijk dat op wegen met een verhardingsbreedte van 5,50 m vrachtwagens elkaar op de verharding kunnen passeren terwijl het elkaar passeren van personenauto's ook mogelijk is op wegen met een verhardingsbreedte van 4,50 m. Op wegen met een verhardingsbreedte van 3,50 m geldt, dat passeren van (brom)fietsen door gemotoriseerd verkeer op de verharding in het algemeen goed mogelijk is, terwijl dit met een verhardingsbreedte van 3,00 m niet meer het geval is.

Om bij aanleg of reconstructie van een weg te komen tot een keuze van een bepaald wegtype, dient de functie die de weg vervult c.q. moet gaan vervullen en de te verwachten verkeersbelasting die zal gaan optreden in beschouwing genomen te worden. Hierbij wordt voor wat de verkeersbelasting betreft verwezen naar par. V. 2.2.3.

Ingeval van een keuze voor cat. VIII wordt aanbevolen uit te gaan van een wegtype 3. In situaties met geen of nauwelijks (brom)fietsverkeer kan volstaan worden met type 2. Ingeval bij het ontwerp van cat. VII wordt uitgegaan, wordt type 4 voorgestaan. Bij een verwachte aanwezigheid van een groot aandeel landbouw- en vrachtverkeer gecombineerd met (brom)fietsverkeer wordt voor type 5 gekozen.

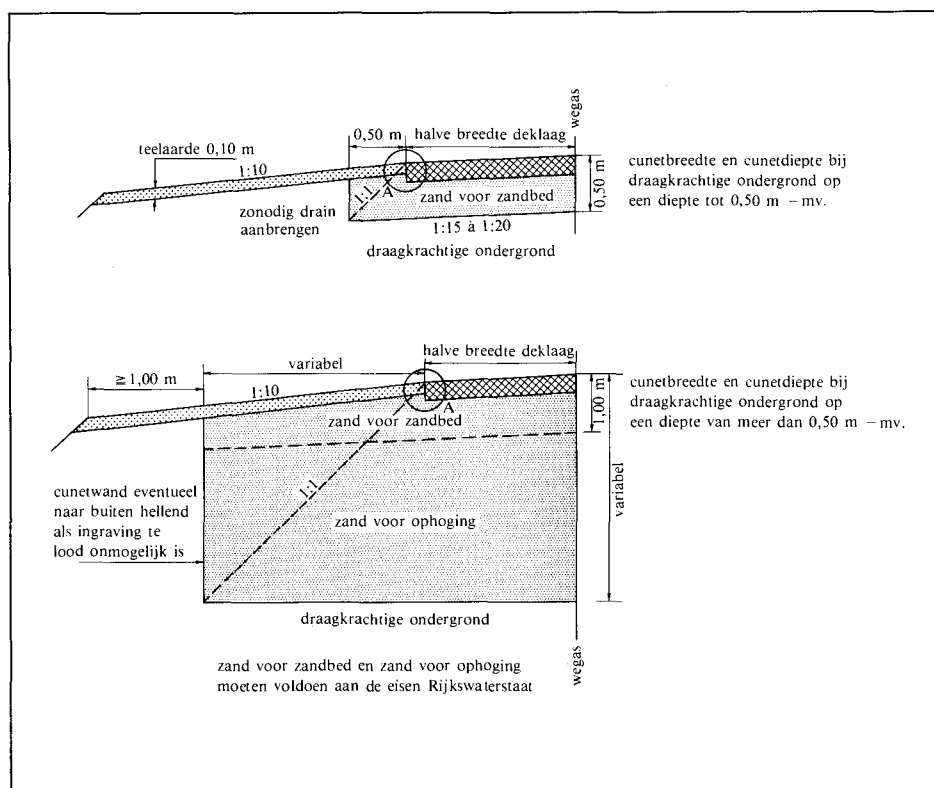
De in tabel 2.3.9 aangegeven kruinbreedten zijn voor de wegtypen 1 t/m 4 bepaald door de omvang en de frequentie van voorkomen van het vracht- en landbouwverkeer. Voor wegtype 5 (cat. VII) zijn de aangegeven kruinbreedten bepaald op grond van weg-bouwkundige overwegingen.

De aangegeven kruinbreedten zijn minimum-afmetingen. Het kan noodzakelijk zijn deze maten te verhogen in verband met de aanwezigheid van kabels en leidingen of voor de uitvoering van onderhoud aan weg, berm en sloot, dan wel het voorkomen van beplanting.

Op verkeerskundige gronden wordt aanbevolen bij cat. VII voor type 4 resp. type 5 uit te gaan van kruinbreedten van 8,50 m resp. 9,50 m.

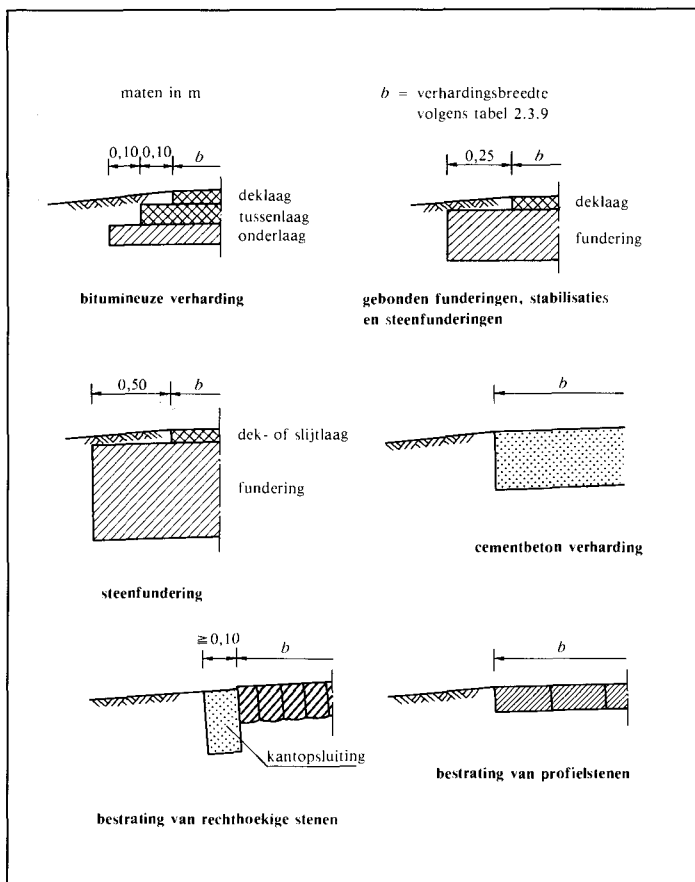
In figuur 2.3.3 is aangegeven hoe de cunetbreedte en de cunetdiepte worden bepaald door de ligging van de draagkrachtige ondergrond. Figuur 2.3.4 geeft weer hoe, uitgaande van de verhardingsbreedte, de breedte van de afzonderlijke constructielagen wordt bepaald.

Indien de weg aan één zijde begrensd wordt door een brede waterloop, verdient het aanbeveling de berm aan die zijde ten minste 1,00 m breder te maken dan uit het voorgaande volgt.



Figuur 2.3.3. Bepaling cunetbreedte en cunetdiepte in relatie tot de diepteligging van de draagkrachtige ondergrond (voor detail A zie fig. 2.3.4)

Figuur 2.3.4.
Overgangsconstructies
verharding-berm.



Ruimte voor kabels en leidingen

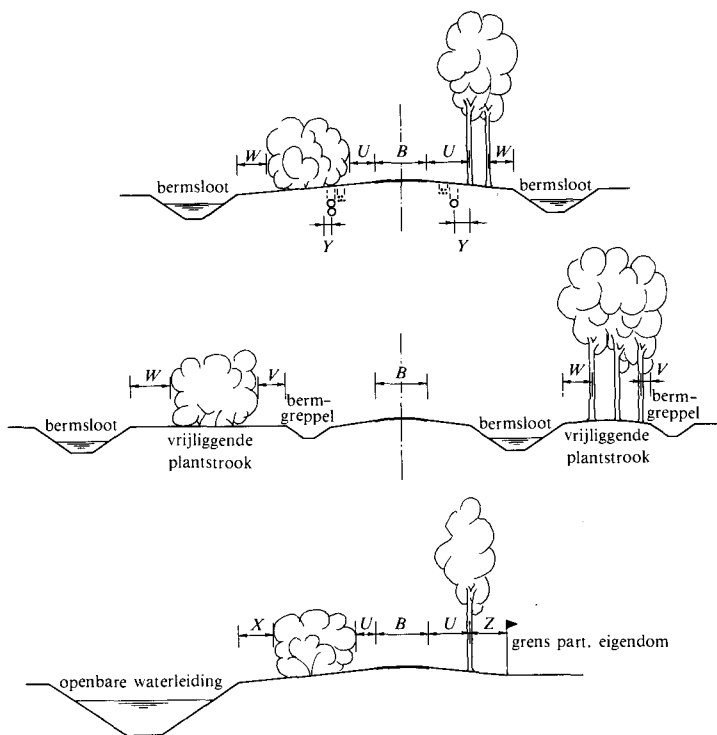
De meest wenselijke situering van kabels en leidingen in wegbermen is voor normale gevallen aangegeven in het normaalblad NEN 1738. Tenzij de plaatselijke omstandigheden zich daartegen verzetten dient de rangschikking van dit normaalblad te worden toegepast. Waar mogelijk verdient het de voorkeur de plaats van de kabels en leidingen niet uit te zetten vanaf de kant van de verharding, doch vanaf de kant van de fundering. Indien het leggen van kabels en leidingen aan de orde is, dient de betreffende berm breedte op deze voorziening te worden afgestemd.

Ruimte voor beplantingen

Het in de vorige paragraaf genoemde normaalblad NEN 1738 geeft tevens aanwijzingen omtrent beplantingen, voor zover deze voor kabels en leidingen van belang zijn. Bij het bepalen van de ruimte voor beplanting dient ook met andere aspecten rekening te worden gehouden, zoals bermvrees en uitzicht, alsmede de mogelijkheid tot het goed kunnen onderhouden van bermen en sloten. Daarnaast zijn van belang bepalingen uit het Burger-

lijk Wetboek (artikel 713), provinciale en gemeentelijke verordeningen en waterschaps-reglementen.

In figuur 2.3.5 zijn enkele maten gegeven die voor de meeste gevallen kunnen worden aangehouden. Plaatselijke verordeningen of reglementen, alsmede bijzondere terrein-omstandigheden kunnen afwijkingen hiervan nodig maken. Dit geldt met name voor de afstand tot de insteek van een openbare waterleiding.



maat	wegtype	struiken	bomen
$\frac{1}{2} B + U$	1	3,50	3,00
U	2	1,00	1,50
U	3	2,00	2,50
U	4	2,00	2,50
U	5	2,00	3,00
V	1 t/m 5	1,00	0,50
W	1 t/m 5	1,50	1,50
X	1 t/m 5	3,00	3,00
Y	1 t/m 5	0,50	1,00
Z	1 t/m 5	0,50	2,00

maten in m

Figuur 2.3.5. Minimum breedtematen ten behoeve van beplantingen langs aan te leggen wegen.

Bij niet-openbare wegen van het type 1 kan de maat $\frac{1}{2}B + U$ worden teruggebracht tot respectievelijk 2,50 m en 2,00 m en de maat U voor type 2 tot 0,50 m en 1,00 m. Indien geringere dan de in figuur 2.3.5 aangegeven maten worden toegepast zal, met name bij struikbeplantingen, een frequent onderhoud noodzakelijk zijn om de ruimte voor en de veiligheid van het verkeer te waarborgen. Tevens kunnen dan problemen ontstaan met betrekking tot het uitzicht (zie par. V. 2.3.3).

Ingeval van bestaande beplantingen dient veelal om redenen van natuur, milieu en landschappelijke aard, de aanwezige situatie als gegeven te worden beschouwd.

Afwatering en ontwatering

Het dwarsprofiel van de weg moet zodanig zijn uitgevoerd, dat een goede afwatering en ontwatering onder alle omstandigheden verzekerd is. In ons land zijn daartoe vrijwel steeds bermsloten nodig. Slechts op plaatsen waar de grondwaterstand permanent meer dan 1,50 m beneden het maaiveld ligt, kan worden overwogen om sloten achterwege te laten.

De wegkruin dient in zandgronden 0,80 à 1,00 m boven de regelmatig voorkomende hoge slootwaterstanden te liggen; in kleigrond is een groter hoogteverschil (1,20 à 1,50 m) wenselijk.

Bij minder goed doorlatende gronden en toepassing van watergevoelige cunetzanden kan een cunetdrainage wenselijk zijn.

In alle gevallen moet worden voorzien in de mogelijkheid van een snelle afvoer van het oppervlaktewater; daartoe dienen de wegbermen een helling te hebben van 1 : 10. Indien geen bermsloten worden toegepast, verdient het in elk geval aanbeveling zakgreppels aan te brengen en tevens de buitenkruinlijn niet beneden maaiveldhoogte aan te leggen. Zakgreppels kunnen in samenhangende gronden worden vervangen door bermdrainages, mits deze deugdelijk kunnen afwateren.

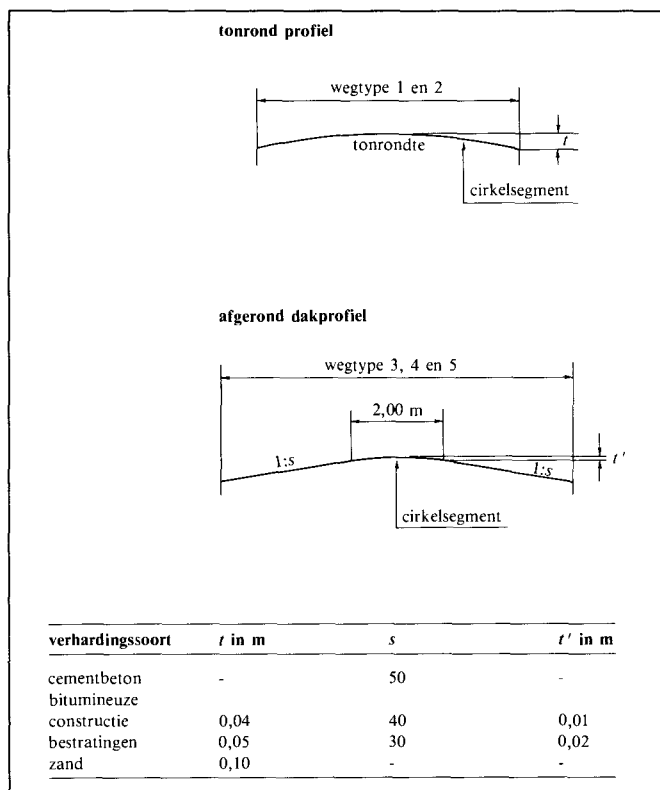
Indien struikbeplantingen worden toegepast, vraagt de afwatering bijzondere aandacht. Het verdient dan aanbeveling de plantstroken ten opzichte van de wegberm te verlagen of, indien zulks niet mogelijk is, een dwarshelling voor deze stroken van ten minste 1 : 10 aan te houden.

Indien de plantstrook breder is dan 3,00 m of als wal wordt uitgevoerd, moet één van de onderstaande maatregelen worden toegepast:

- cunetdrainage met afvoer naar de bermsloot;
- bermdrainage aan de wegzijde van de plantstrook met afvoer naar de bermsloot;
- bermgreppel aan de wegzijde van de plantstrook met afvoer naar de bermsloot (in gunstige gevallen, met goed doorlatende ondergrond, uit te voeren als zakgreppel).

De waterafvoer van de wegverharding wordt verkregen door toepassing van een tonrond dwarsprofiel (typen 1 en 2) of een afgerond dakprofiel (typen 3, 4 en 5). De daarbij aan te houden maten zijn aangegeven in figuur 2.3.6.

Figuur 2.3.6.
Tonrondte en dwarshelling
van wegverhardingen.



Indien slechts naar één zijde afwatering mogelijk is (bijvoorbeeld bij ligging langs een houtwal, es, of langs de teen van een dijk) kan de wegverharding op één oor worden gelegd onder dezelfde dwarshelling als aangegeven in figuur 2.3.6 voor de typen 3, 4 en 5. Deze oplossing komt ook in aanmerking bij verhardingen die moeilijk tonrond of onder dakprofiel zijn aan te brengen, zoals cementbeton; wegen tot een breedte van 4,00 m worden op één oor gelegd (van de overheersende westenwind af).

In bogen dient echter een verkanting in de goede richting te worden aangebracht, waarbij zonodig greppels, cunet- of bermdrainage de afwatering dienen te waarborgen.

Bochtverbreiding

In verband met de benodigde vrije ruimte voor lange en/of brede voertuigen wordt in bogen met beperkte straal (R_b) een bochtverbreiding (b) toegepast. De verbreiding wordt aangebracht in de binnenbocht over de volledige lengte van de cirkelboog. Het verloop van het normale naar het verbrede profiel vindt plaats over dezelfde lengte als het verloop van de verkanting (zie par. V. 2.3.3).

De bochtverbreiding wordt zowel in de verharding als in de fundering aangebracht en zo nodig tevens in de wegkruin.

In tabel 2.3.10 is aangegeven op welke wijze de verbreding voor de verschillende gevallen worden vastgesteld; figuur 2.3.7 geeft hetzelfde grafisch weer.

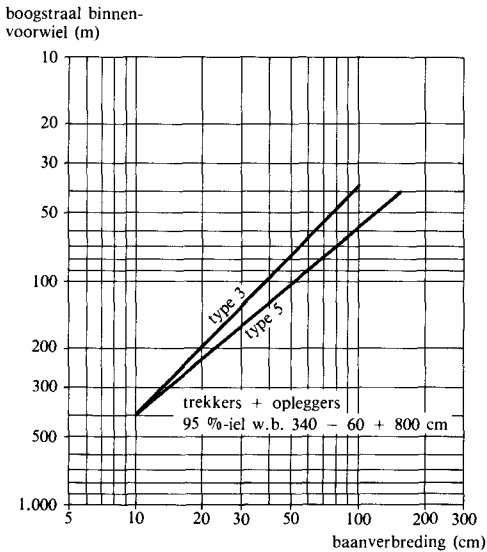
Tabel 2.3.10. Bochtverbreding, b , voor verschillende wegtypen in afhankelijkheid van de boogstraal, R_h .

Plattelandswegen type	R_h (m)	b (m)	R_h (m)	b (m)
3 (cat. VIII)	400-40	40/R	<40	1,00
4 (cat. VII)	600-40	geen	<40	geen
5 (cat. VII)	600-40	60/R	<40	1,50

Bij type 4 wordt geen bochtverbreding toegepast aangezien ervan uitgegaan wordt dat voertuigen gebruik maken van de totale wegbreedte in de bocht terwijl bij type 5 ervan uitgegaan wordt dat door voertuigen in bochten uitsluitend gebruik moet worden gemaakt van de in eigen richting beschikbare ruimte en geen overlast voor de tegenrichting mag worden veroorzaakt.

Indien stralen kleiner dan 20 m voorkomen, dient de vormgeving te worden ontleend aan die van aansluitingen (zie par. V. 2.3.5).

Bochtverbredingen worden afgerond tot veelvouden van 0,10 m.



Figuur 2.3.7. Bochtverbreding in relatie tot de boogstraal bij wegtypen 3 en 5.

Plaatselijke verbredingen

In bepaalde gevallen is het wenselijk om de wegverharding plaatselijk te verbreden. Dergelijke verbredingen worden niet alleen in de verharding, maar eveneens in de fundering aangebracht. Een verbreding van de wegkruin dient zoveel mogelijk achterwege te blijven, teneinde een strakke begrenzing van de weg niet te onderbreken.

Verbredingen in verband met beperkt uitzicht

Indien bij wegen van de typen 2 t/m 4 plaatselijk een sterke beperking van het uitzicht voorkomt, bijvoorbeeld in verticale of horizontale bogen, verdient het aanbeveling de wegverharding plaatselijk te verbreden.

Deze verbreding krijgt een lengte welke gelijk is aan de lengte van de zichtbeperking. Het verloop van het normale naar het verbrede wegprofiel wordt zodanig uitgevoerd, dat het rechtshouden zoveel mogelijk wordt bevorderd.

Afhankelijk van de lengte van de wegverbreding kan een verhardingsbreedte van 4,00-5,50 m worden aanbevolen.

Dammen en uitritten

Indien dammen naar door de weg ontsloten percelen niet worden voorzien van een verharding, wordt ter plaatse van de dam de wegverharding over de noodzakelijk geachte lengte verbreed met 0,25 à 0,50 m. Indien de plaats van de dam geen wijziging meer zal ondergaan kan deze verbreding gelijk met de wegaanleg worden aangebracht met toepassing van hetzelfde verhardingsmateriaal. Overigens kan voor dit doel ook gebruik worden gemaakt van elementverharding.

Bermen voorkomende langs wegen van typen 2 en 3 (cat. VIII) worden aan de overzijde van frequent gebruikte uitritten (bijvoorbeeld van boerderijen) of tegenover plaatsen waar regelmatig voertuigen stilstaan (zoals bij dicht langs de weg gelegen woningen en bedrijven) vaak beschadigd. Het verdient dan aanbeveling deze wegen op dergelijke plaatsen te verbreden. Een totale verhardingsbreedte van 5,50 m is doorgaans voldoende. De lengte van de verbreding is afhankelijk van de omstandigheden. Tegenover de uitrit van een boerderij is in het algemeen een lengte van 20 m voldoende. De overgangen tussen het verbrede en het normale dwarsprofiel krijgen een lengte gelijk aan ten minste $5 \times$ de verbreding.

Bij het ontwerp van uitritten naar boerderijen en veldkavels dient niet alleen rekening te worden gehouden met voertuigen die van de weg gebruik maken, maar ook met de voertuigen die van de betreffende uitritten gebruik zullen maken. Vooral de afrondingsbogen verdienen aandacht. Uit wegbouwtechnisch oogpunt is het van belang dat bermbeschadiging als gevolg van te kleine afrondingsstralen wordt vermeden. Dit kan echter strijdig zijn met een verkeerstechnisch belang, namelijk dat het voor de weggebruikers duidelijk moet zijn dat het een uitrit betreft en niet een tak van een kruispunt.

Onduidelijkheid hieromtrent kan problemen opleveren met betrekking tot het al dan niet moeten verlenen van voorrang. Uit verkeerstechnisch oogpunt zijn derhalve krapgedimensioneerde uitritten te prefereren. Toepassing van een andere verhardingssoort

en verticale elementen kan de duidelijkheid omtrent de aard van deze voorziening versterken.

Bij het zoeken naar een compromis zullen de plaatselijke omstandigheden en gebruik van groot en zwaar vervoer in beschouwing moeten worden genomen. Van belang zijn de kwaliteit van de berm in relatie tot de soort voertuigen en de frequentie van gebruik van de uitrit, alsmede de zichtbaarheid vanaf de hoofdweg van het bedrijf waarnaar de uitrit voert. Is dit goed zichtbaar, dan zal de uitrit eerder als zodanig worden onderkend dan wanneer het bedrijf niet vanaf de hoofdweg is te zien of te herkennen.

In de praktijk zullen meestal afrondingsstralen worden toegepast, waarbij met name gelede vrachtwagens gedeeltelijk door de berm zullen rijden. Indien dit laatste echter absoluut ontoelaatbaar is, zullen de afrondingsbogen extra ruim moeten worden gedimensioneerd. In tabel 2.3.11 worden hiervoor enkele richtwaarden gegeven per voertuigcategorie en per wegtype.

Bij het vaststellen van deze afrondingsstralen is rekening gehouden met het feit dat het op categorie VI-wegen gewenst is dat de voertuigen bij hun afslaan manoeuvre op de eigen weghelft blijven.

Op wegen van de categorieën VII en VIII is het acceptabel dat een voertuig bij het nemen van een bocht van de gehele rijbaan gebruik maakt. Voor de berekening van de cijfers is uitgegaan van een breedte van de uitrit van 3,00 m. Tevens is verondersteld dat bij rijbanen van typen 2 en 3 (categorie VIII) tegenover de uitrit een extra verhardingsstrook met een breedte van 1,00 m wordt aangebracht.

Tabel 2.3.11. Afrondingsbogen voor verschillende voertuigcategorieën en wegtypen.

Voertuig	Straal afrondingsboog in m bij wegtype:	
	Cat. VI	Cat. VII en VIII typen 3, 4 en 5
tractor	3	3
tractor + 1 aanhanger	3	3
tractor + 2 aanhangers	4	3
vrachtwagen	10	8
vrachtwagen + aanhanger	12	10
trekker + oplegger	15	12

Opgemerkt wordt dat in principe geen grotere afrondingsstralen dan die genoemd in tabel 2.3.11 dienen te worden toegepast.

Kleinere stralen kunnen worden toegepast bij bredere uitritten of, zoals gezegd, wanneer wordt geaccepteerd dat incidenteel door de berm wordt gereden.

Uitwijkplaatsen

De aanleg van uitwijkplaatsen beperkt zich in het algemeen tot de wegtypen 2 en 3 (cat. VIII), alsmede tot die gevallen waarbij door een te geringe verhardingsbreedte passeren onmogelijk is vanwege het ontbreken van berm en van voldoende breedte of draagkracht. De uitwijkplaatsen dienen zodanig te worden aangebracht, dat over een lengte van 20 m een verhardingsbreedte van circa 5,50 m voor weg en uitwijkplaats te zamen aanwezig is (indien de weg gesloten is voor brede voertuigen kan een geringere breedte voldoende zijn). De overgangen tussen het verbrede en het normale dwarsprofiel worden $5 \times$ zo lang als de verbreding.

Het aantal uitwijkplaatsen is afhankelijk van de verkeersintensiteit en het tracé van de weg. Wat betreft de capaciteit van wegen met uitwijkplaatsen wordt verwezen naar par. V. 2.2.3. De plaats van de uitwijkplaatsen moet zodanig zijn dat deze voor de weggebruiker tijdig zichtbaar zijn. In verband met de ervaring en de mogelijkheden van de mens tot het schatten van de afstand tot de tegenligger en de afstanden tot de betreffende uitwijkplaatsen, kan de maximale afstand tussen twee uitwijkplaatsen op 300 m worden gesteld. Om praktische redenen kan de ondergrens van de onderlinge afstanden op 150 m worden gesteld.

Bij geringere afstanden kan beter tot een gehele wegverbreding worden overgegaan. Markering van de uitwijkplaatsen met witgeverfde palen kan de zichtbaarheid verhogen. Veelal kunnen uitwijkplaatsen samenvallen met verbredingen ten behoeve van dammen en uitritten.

Het komt voor dat uitwijkplaatsen niet aan hun doel beantwoorden, omdat zij worden gebruikt als parkeerplaats. Het kan dan noodzakelijk zijn het parkeren door middel van verbodsbepalingen tegen te gaan. Daarbij moet uiteraard wel worden overwogen of in de behoefte aan parkeergelegenheid op andere wijze kan worden voorzien.

2.3.5. Aansluitingen en kruisingen

Eisen te stellen aan aansluitingen en kruisingen

Aan het ontwerp dienen de volgende eisen te worden gesteld ten aanzien van:

- Zichtbaarheid

De aansluiting/kruising moet op ruime afstand zichtbaar zijn. Het aanbrengen van beplantingen, hekken en dergelijke kan de zichtbaarheid verbeteren. Beplantingen dienen daarbij buiten de uitzichthoek te worden aangebracht.

- Overzichtelijkheid

De aansluiting/kruising moet overzichtelijk zijn. De weggebruiker moet goed kunnen zien of er ander verkeer nadert. Zie hiervoor het gestelde met betrekking tot het oprij-zicht in par. V. 2.3.3.

- Begrijpbaarheid

De aansluiting/kruising moet begrijpbaar zijn. Uit de situatie moet duidelijk blijken, niet

alleen hoe de weggebruiker zelf moet rijden, maar ook hoe de baan van het overige verkeer zal zijn.

- Berijdbaarheid

De aansluiting/kruising moet goed berijdbaar zijn. De weggebruiker moet zijn weg kunnen vervolgen zonder sterk af te wijken van het normale rijgedrag.

Soorten aansluitingen en kruisingen

De figuren 2.3.8 en 2.3.9 geven in beginsel de oplossingen voor haakse aansluitingen en kruisingen van diverse wegtypen, alsmede de bijbehorende markeringen op de aansluitingen, kruisingen en toeleidende wegvakken. Deze oplossingen zijn niet alleen toepasbaar voor haakse aansluitingen en kruisingen maar ook als de hoek tussen de aansluitende c.q. kruisende wegen groter is dan 75° .

Kleinere hoeken dienen te worden vermeden door het verleggen van de as van één van beide wegen. (zie afbeelding 11 en 12 in figuur 2.3.9)

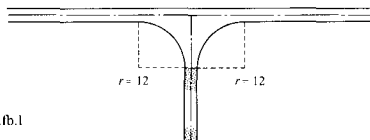
De oplossingen zijn gebaseerd op de volgende uitgangspunten:

- alle gekozen afrondingsstralen bestaan uit een cirkelboog;
- trompetvormige verbredingen en plaatselijke verbredingen van het wegdek zijn niet toegepast;
- het aanbrengen van verkeersgeleiders verdient in het algemeen slechts aanbeveling bij voorrangskruisingen en aansluitingen. Omdat deze in plattelandswegen weinig voorkomen zijn de ontwerpen opgezet zonder verkeersgeleiders. In sommige gevallen kan het regelen van de voorrang noodzakelijk zijn, bijvoorbeeld bij uitzichtbelemmeringen of slechte zichtbaarheid van een kruising of aansluiting;
- de afrondingsstralen voor aansluitingen en kruisingen met wegen van het type 5 (cat. VII) zijn zodanig gekozen, dat het maatgevende voertuig de aslijn niet hoeft te overschrijden. Om de variatie in de grootte van de afrondingsstralen beperkt te houden is een aantal stralen naar boven afgerond.

Als de hoek tussen de kruisende wegen kleiner is dan 75° kan de kruising worden vervangen door twee ten opzichte van elkaar verspringende aansluitingen (bajonetaansluiting afbeelding 11 of door een haakse kruising afbeelding 12). Een bajonetaansluiting verdient ook aanbeveling als een kruising door onopvallendheid in het terrein of door te geringe uitzichthoeken gevaar kan opleveren voor het verkeer (zie afbeelding 13). Een linkse bajonetaansluiting (afbeelding 10) is uit een oogpunt van verkeersveiligheid te prefereren boven een rechtse bajonetaansluiting. Het verkeer dat de hoofdweg wil oversteken moet zich dan eventueel opstellen op de zijwegen. Om scheef oversteken te voorkomen dienen de aansluitingen op een minimale afstand van 40 à 50 m van elkaar op de doorgaande weg uit te monden.

Bij het wijzigen van een scheve in een haakse kruising (afbeelding 12) ontstaan automatisch afrembochten, waarvan toepassing ook bij een haakse kruising aanbeveling verdient (zie afbeelding 14).

AANSLUITINGEN - maten in m



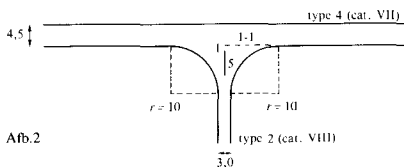
Afb.1

aansluiting:

- type 1 - type 2
- type 1 - type 3
- type 2 - type 2
- type 2 - type 3

maatgevend voertuig:

landbouwtrekker met 2 landbouwwagens



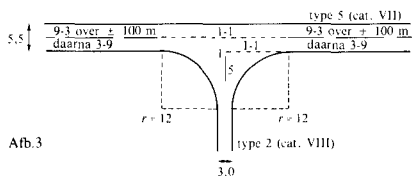
Afb.2

aansluiting:

- type 2 - type 4

maatgevend voertuig:

landbouwtrekker met 2 landbouwwagens



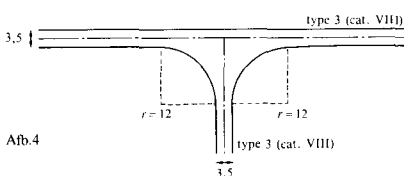
Afb.3

aansluiting:

- type 2 - type 5

maatgevend voertuig:

landbouwtrekker met 2 landbouwwagens



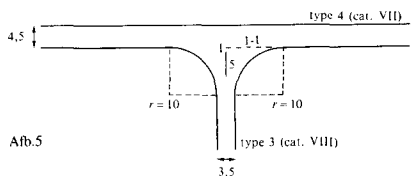
Afb.4

aansluiting:

- type 3 - type 3

maatgevend voertuig:

middelgrote vrachtauto met aanhanger



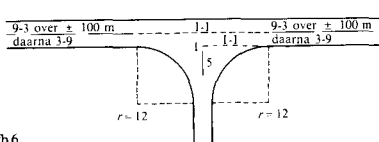
Afb.5

aansluiting:

- type 3 - type 4

maatgevend voertuig:

middelgrote vrachtauto met aanhanger



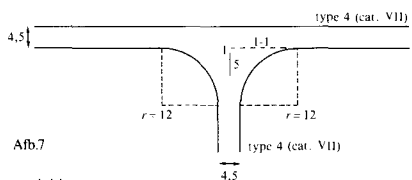
Afb.6

aansluiting:

- type 3 - type 5

maatgevend voertuig:

middelgrote vrachtauto met aanhanger



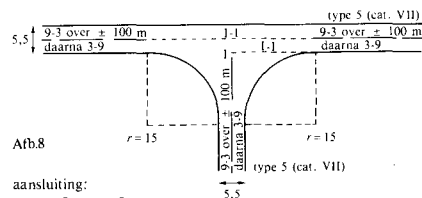
Afb.7

aansluiting:

- type 4 - type 4

maatgevend voertuig:

middelgrote vrachtauto met aanhanger



Afb.8

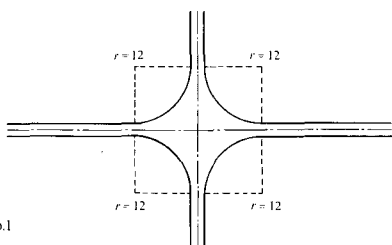
aansluiting:

- type 5 - type 5

maatgevend voertuig:

grootste wettelijk toegelaten vrachtautocombinatie

Figuur 2.3.8. Haakse aansluitingen van diverse wegtypen.



Afb.1

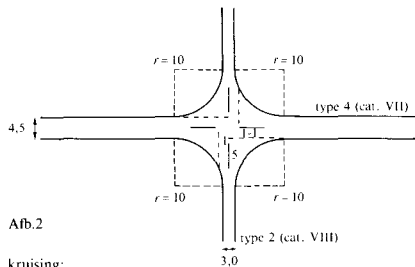
kruising:

type 2 - type 2

type 2 - type 3

maatgevend voertuig:

landbouwtrekker met 2 landbouwwagens



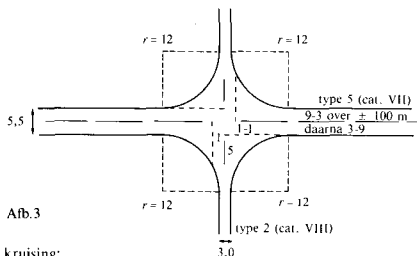
Afb.2

kruising:

type 2 - type 4

maatgevend voertuig:

landbouwtrekker met 2 landbouwwagens



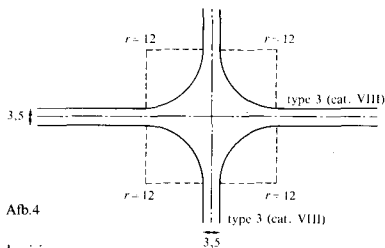
Afb.3

kruising:

type 2 - type 5

maatgevend voertuig:

landbouwtrekker met 2 landbouwwagens



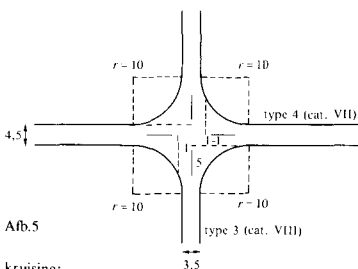
Afb.4

kruising:

type 3 - type 3

maatgevend voertuig:

middelgrote vrachtauto met aanhanger



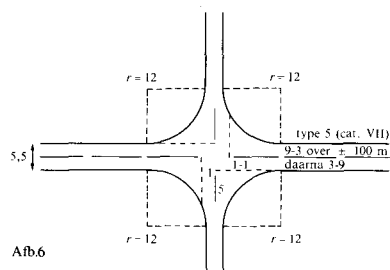
Afb.5

kruising:

type 3 - type 4

maatgevend voertuig:

middelgrote vrachtauto met aanhanger



Afb.6

kruising:

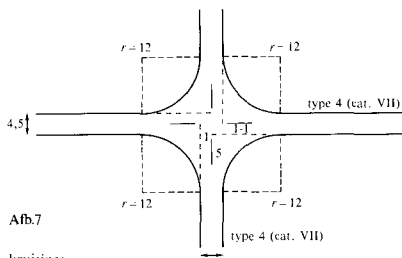
type 3 - type 5

type 4 - type 5

maatgevend voertuig:

middelgrote vrachtauto met aanhanger

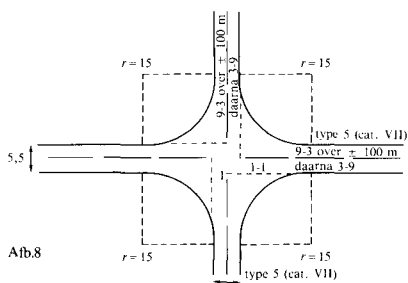
Figuur 2.3.9. Haakse kruisingen van diverse wegtypen.



Afb.7

kruising:
type 4 - type 4

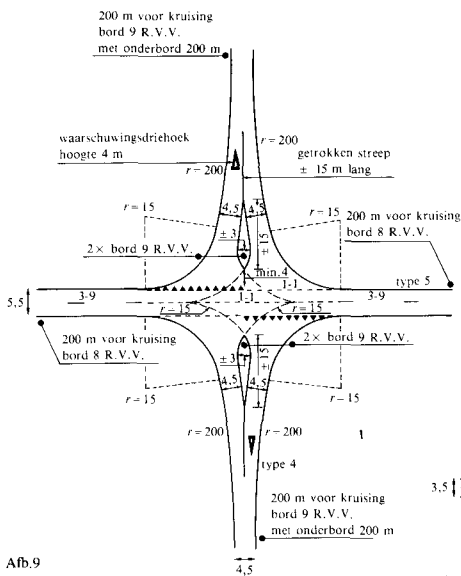
maatgevend voertuig:
middelgrote vrachtauto met aanhanger



Afb.8

kruising:
type 5 - type 5

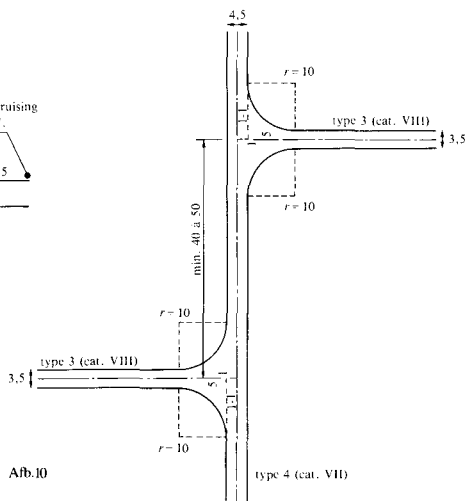
maatgevend voertuig:
grootste wettelijk toegelaten vrachtautocombinatie



Afb.9

kruising:
type 4 - type 5
met verkeersgeleiders

maatgevend voertuig:
middelgrote vrachtauto met aanhanger



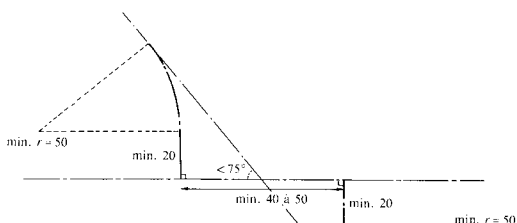
Afb.10

bajonetkruising:
type 3 - type 4

maatgevend voertuig:
middelgrote vrachtauto met aanhanger

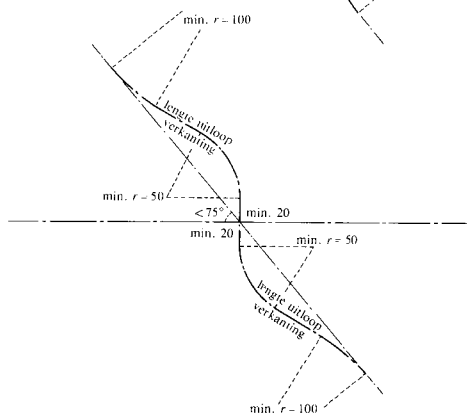
Afb.11

scheve kruising omgevormd tot linkse bajonet



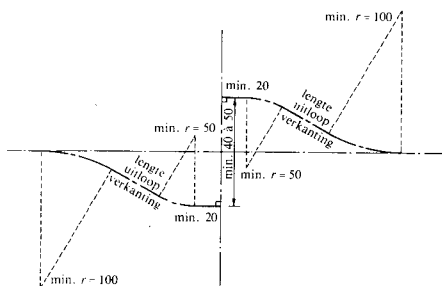
Afb.12

scheve kruising omgevormd tot haakse kruising



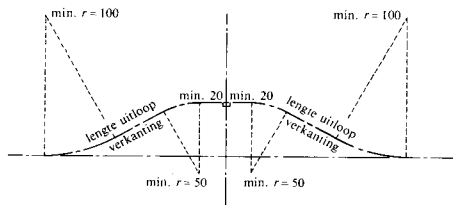
Afb.13

haakse kruising omgevormd tot linkse bajonet



Afb.14

haakse kruising omgevormd tot haakse kruising met afrembochten



Figuur 2.3.9. Vervolg.

Vorrangsregelingen

Vorrangsregelingen dienen in eerste instantie ter voorkoming van ongevallen op aansluitingen of kruisingen. Daarbij zijn de verkeersintensiteiten op de aansluitende of kruisende wegen van belang. Een slecht overzicht of slecht uitzicht ter plaatse van de aansluiting of kruising kunnen mede aanleiding zijn voor het instellen van een vorrangsregeling.

De maatregelen die hiervoor moeten worden getroffen zijn vastgelegd in het Reglement verkeersregels en verkeerstekens (afgekort RVV) en de beschikking van de minister van Verkeer en Waterstaat van 5 oktober 1977, nummer R 66505.

In het RVV wordt onder andere een overzicht gegeven van de beschikbare verkeersborden ter regulering van het verkeer, alsmede de wijze waarop tot plaatsing kan worden overgegaan. In de beschikking staat onder andere vermeld wie bevoegd is tot plaatsing van verkeersborden en welke procedure hierbij moet worden gevolgd.

2.3.6. Uitzicht

Uitzicht bij dammen en uitritten

Een eventuele beplanting op de bermen welke volgens figuur 2.3.6 op de juiste afstand van de weg is geplant, dient aan weerszijden van dammen en uitritten over een lengte van minimaal 10 m (exclusief de dambreedte) te worden onderbroken. Indien de beplanting dichter op de weg staat is uiteraard een grotere onderbreking nodig.

Uitzicht in horizontale bogen

Bij een geringere uitzichtlengte dan 300 m wordt bij wegtype 5 over een lengte van ten minste 50 m uitsluitend een doorgetrokken streep aangebracht. De doorgetrokken streep wordt voorafgegaan door een waarschuwingstreep (9-3) over het wegvak waar de uitzichtlengte minder dan 500 m bedraagt. Een en ander conform de beschikking van de minister van Verkeer en Waterstaat van 30 mei 1967, nummer R 33177.

Uitzicht in verticale bogen

Voor het vaststellen van de uitzichtlengte dient te worden uitgegaan van een zichthoogte van ongeveer 0,90 m boven het wegdek. Bij een geringere uitzichtlengte dan 300 m bij wegen van het type 5 dient over een lengte van ten minste 75 m uitsluitend een doorgetrokken streep te worden aangebracht. De doorgetrokken streep wordt voorafgegaan door een waarschuwingstreep (9-3) over het wegvak waar de uitzichtlengte minder dan 500 m bedraagt. Een en ander conform de beschikking van de minister van Verkeer en Waterstaat van 5 oktober 1977, nummer R 66505.

Uitzicht bij spoorwegovergangen

Ten aanzien van de vrije uitzichthoeken bij spoorwegovergangen wordt verwezen naar de betreffende artikelen in de Spoorwegwet.

2.4. Aankleding van de weg

2.4.1. Inleiding

Aankleding van de weg in de vorm van bebakening en wegmeubilair is vooral nodig of wenselijk ter accentuering van onderdelen in het ontwerp om de verkeersveiligheid op plattelandswegen te bevorderen. Daarnaast heeft het de functie om beschadigingen aan de weg te voorkomen. Hierbij dient ervan uitgegaan te worden dat de aankleding op zich geen vergroting van de verkeersonveiligheid tot gevolg behoeft te hebben. (Veelal "botsvriendelijk" uitvoeren van de aankleding).

Er is een drietal redenen om tot het treffen van voorzieningen over te gaan:

- *voorzieningen voortvloeiend uit vergunningsvoorwaarden.*

Waar nieuwe of te reconstrueren wegen aansluiten op bestaande wegen zal het nodig zijn bij de wegbeheerder voor de werkzaamheden een vergunning aan te vragen. Aan de in deze vergunning (in redelijkheid) gestelde voorwaarden zal moeten worden voldaan;

- *voorzieningen gebaseerd op voorschriften en/of besluiten.*

Volgens het RVV mogen verkeerstekens op borden, die een gebod of verbod bevatten (opgenomen in hoofdstuk I van bijlage II van het RVV) slechts geplaatst of verwijderd worden krachtens een besluit van het verantwoordelijke bestuursorgaan. Dit besluit wordt voor plattelandswegen buiten de bebouwde kom ingevolge de Wegenverkeerswet genomen door Gedeputeerde Staten. Binnen de bebouwde kom neemt de gemeenteraad het besluit of, hiertoe gemachtigd door deze raad, het College van Burgemeester en Wethouders.

Het vorenstaande is eveneens van toepassing op de volgende verkeerstekens op het wegdek: doorgetrokken strepen, voetgangersoversteekplaatsen, gele strepen en aanduidingen van rijstroken ten behoeve van autobussen.

De plaatsing of verwijdering van verkeerstekens geschiedt door de zorg en op kosten van het orgaan dat het besluit tot plaatsing of verwijdering heeft genomen. Plaatsing of verwijdering van verkeerstekens ten behoeve van de instandhouding en bruikbaarheid van de weg en die welke een maximum snelheid aanduiden geschiedt door de zorg en op kosten van het openbaar lichaam dat het beheer heeft over de weg;

- *overige voorzieningen.*

Naast de voorzieningen als gevolg van vergunningsvoorwaarden, voorschriften en/of besluiten kunnen er in het belang van de verkeersveiligheid of ter bescherming van de wegconstructie aanvullende voorzieningen nodig zijn. Om het nuttig effect zo groot mogelijk te doen zijn is beperking ervan in aantal een eerste vereiste.

2.4.2. Voorzieningen

Voorzieningen op of in het wegdek

In het RVV worden voorschriften gegeven over plaatsing, inrichting, kleur, afmetingen en materiaal van verkeerstekens op borden en op het wegdek.

- As- en kantstrepen

Voor het aanbrengen van asmarkeringen is de minimum rijbaanbreedte 5,10 m; voor as- en kantmarkeringen 5,80 m. Op plattelandswegen met een breedte van 5,00-6,00 m komen derhalve asstrepen.

Voor smallere wegen dan type 5 kunnen in bijzondere gevallen (bijvoorbeeld bij wegen op dijken) kantstrepen worden aangebracht.

- Wegdek-reflectoren

Wegdek-reflectoren (katte-ogen) dienen in het algemeen slechts toegepast te worden bij wegen met een breedte van 5,00-6,00 m in bochten met kleine stralen of beperkte zichtlengte.

Voorzieningen naast het wegdek

- Reflectorpalen

Bij wegen langs kanalen of watergangen en op dijkwegen kunnen reflectorpalen worden toegepast, vooral wanneer de bermen smal zijn. De reflectorpalen dienen op ten minste 0,50 m en zo mogelijk op 1,25 m uit de kant van de verharding te worden geplaatst met de rode reflectoren rechts en de witte links gezien in de rijrichting. De onderlinge afstand bedraagt 40 m.

Op wegen van de typen 4 en 5 (cat. VII) worden in elke bocht met een straal kleiner dan 600 m in de buitenbogen, witte reflectorpalen geplaatst. Waar de situatie en de verkeersintensiteit daartoe aanleiding geven, worden ook in de bochten van andere typen wegen reflectorpalen aangebracht.

Ook een beplanting kan deze geleidende functie vervullen. Overigens wordt verwezen naar de "*Richtlijnen voor de bebakening en markeringen van wegen*" van Rijkswaterstaat.

- Schampblokken

In bochten en bij aansluitingen is het soms wenselijk schampblokken te plaatsen. Daarbij is een gering aantal (1 à 2 stuks) mits goed geplaatst op korte afstand van de verharding veelal voldoende. Deze schampblokken mogen echter geen gevaarlijke objecten worden; daartoe dienen de boven de grond uitstekende en naar het verkeer gerichte delen goed afgerond te zijn. Bovendien moeten zij helder wit geschilderd zijn.

- Schrikhekken

Op plaatsen waar de verkeerssituatie ten gevolge van abrupte veranderingen in de rijrichting onoverzichtelijk en daardoor gevaarlijk kan zijn, is het noodzakelijk schrikhekken te plaatsen. Hierbij wordt gedacht aan een wegaansluiting (vooral wanneer de doorgaan-

de weg langs het water of over een dijk loopt), een haakse bocht in een doorgaande weg of het einde van een doodlopende weg. Deze rood en wit geschilderde hekwerken kunnen worden uitgevoerd overeenkomstig de bijlage van het *Wegenverkeersreglement* (afgekort WVR). Zo mogelijk moet dit soort voorzieningen een tijdelijk karakter hebben. In gevallen waarbij de verkeersveiligheid dit toelaat kan het schrikhek vervangen worden door een beplanting. Ook kan gedacht worden aan een combinatie van schrikhek met beplanting als achtergrond.

- *Verkeersborden*

Naast verkeersborden die moeten worden geplaatst op grond van vergunningsvoorwaarden, voorschriften en/of besluiten (zie het gestelde bij Voorrangsregelingen in par. V. 2.3.5) kan in het belang van de verkeersveiligheid worden overwogen nog andere borden te plaatsen. Bijvoorbeeld het bord "*gevaarlijke kruising*", het bord "*algemeen gevaarteken*" (waarbij op een onderbord de aard van het gevaar kan worden aangegeven), het bord "*doodlopende weg*" en borden ter aanduiding van spoorweg- en tramwegovergangen.

Voor een volledig overzicht wordt verwezen naar bijlage I van het RVV.

- *Bewegwijzering*

De plattelandswegen van nu hebben zoals reeds gememoreerd in par. V. 2.3.1. een verscheidenheid aan functies ten behoeve van een diversiteit aan verkeersdeelnemers. Het zal daarom nodig zijn in verschillende gevallen een bewegwijzering aan te brengen. Om deze bewegwijzering zo uniform en dus zo effectief mogelijk te doen zijn, wordt de wegbeheerder geadviseerd in deze overleg te plegen met de ANWB.

Met de bewegwijzering wordt beoogd het aangeven van plaatsnamen en in mindere mate ook van bijzondere aanduidingen als "*zwembad*", "*hunebed*" en dergelijke.

Doorgaande routes (veelal langs de wegtypen 4 en 5 cat. VII) en enkele markante punten in gebieden met toeristisch verkeer komen in het algemeen in aanmerking om van een bewegwijzering te worden voorzien. Zulke markante punten zijn bijvoorbeeld de aansluitingen van wegen, welke uit een dergelijk gebied komen op een bewegwijzerde route.

- *Verlichting*

De verlichting van plattelandswegen beperkt zich veelal tot de verlichting van bijzondere punten waarop het rijgedrag van de weggebruiker moet worden gericht, zoals belangrijke kruispunten. Het is overigens denkbaar dat ook andere van dergelijke punten zoals spoorwegovergangen en wegvernauwingen bij bruggen van een verlichting worden voorzien. In verband met de hoge investeringskosten en de jaarlijkse exploitatielast is het niet doenlijk om gehele wegvakken te verlichten en zal ook de verlichting van de bovengenoemde bijzondere punten geval voor geval moeten worden bekeken. Een verlichtingsplan moet worden gebaseerd op een goed doordacht ontwerp waarbij aandacht geschonken is aan de invloed die de verlichting als optische geleiding uitoefent op het wegbeeld.

- *Beplanting*

Beplanting langs plattelandswegen kan om verschillende redenen worden aangebracht. Veelal gebeurt het uit esthetische overwegingen zoals het aankleden van de weg, het verfraaien van het landschap en het markeren van bepaalde lijnen in dat landschap.

Daarnaast kan beplanting worden aangebracht ter bevordering van de verkeersveiligheid. Een tot zekere hoogte opgegroeide beplanting kan een markerende functie hebben bijvoorbeeld als geleiding in buitenbochten, als veiligheidsstrook langs kanalen en watergangen, als lichtscherm bij parallelwegen of spoorbanen, als geleiding op aansluitingen en kruisingen en als afscherming langs fiets-, voet- of ruiterpaden. Daarbij mag een beplanting nimmer een belemmering vormen voor het vrije uitzicht in binnenbochten, bij aansluitingen en kruisingen, alsmede bij dammen en uitritten.

Zo mogelijk dienen wegbeplantingen niet op de bermen te worden aangebracht, maar op vrijliggende plantstroken langs de weg. Daarnaast kunnen geheel buiten de weg aan te brengen beplantingselementen aanbeveling verdienen.

Bij beplanting op de bermen moet de plantafstand tot de verharding zo ruim mogelijk worden genomen conform figuur 2.3.5. De boomaafstand in de rij dient tenminste 10 à 12 m te zijn. Om bij wegkruisingen en aansluitende wegen de voornaamste weg te markeren kan worden overwogen de boombeplanting op deze weg te laten doorlopen, maar de afstand in de rij over het traject van vrij uitzicht regelmatig te vergroten.

Speciale aandacht moet worden besteed aan bestaande wegbeplantingen langs te reconstrueren wegen. De landschappelijke waarde van deze beplantingen kan zodanig zijn dat handhaving ervan onder alle omstandigheden moet worden gewaarborgd. Als de te handhaven beplanting, ook na de reconstructie en eventuele verbreding van de weg, op voldoende afstand van de verharding staat (zie figuur 2.3.5) levert dit in het algemeen geen problemen op. Mogelijk kan de keuze van het verhardingstype in verband met de levenskansen van de wegplantingen daarbij van belang zijn.

Als de in figuur 2.3.5 gegeven afstandsmaten echter worden onderschreden kunnen problemen optreden zowel voor de levenskansen van de te handhaven beplantingen, als de veiligheid van de weggebruiker en de doelmatigheid van het wegonderhoud.

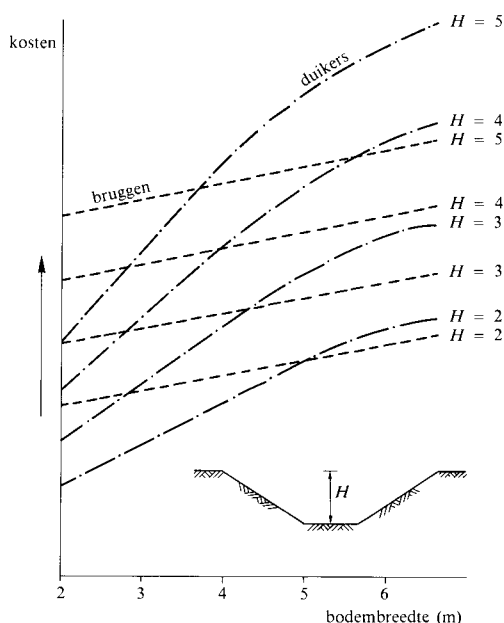
Bepaalde typen hoogopgaande beplantingen veroorzaken een dusdanige verandering in de waterhuishouding van de bodem dat hierdoor droogtescheuren in de bodem ontstaan, welke ook veelal schade aan de langsegelegen wegen met zich meebrengt. Is bij het hantieren van objectieve criteria de conclusie dat een fraaie beplanting zonder meer behouden moet blijven, dan dienen de technische belangen daarvoor te wijken. Dit houdt eveneens in dat daarmee een verhoogd wegonderhoud moet worden geaccepteerd.

2.5. Bruggen en duikers

2.5.1. Brug of duiker

Bruggen en duikers zijn relatief dure bouwwerken. Bij de keuze tussen toepassing van een brug of duiker spelen technische, economische en landschappelijke overwegingen een belangrijke rol. Op grond van economische overwegingen zal vaak de voorkeur worden gegeven aan de toepassing van een duiker. Om enig inzicht te geven in het verschil in aanlegkosten is door middel van een aantal berekeningen in 1982 een globaal verband bepaald tussen de aanlegkosten van duikers en bruggen van gewapend beton. Dit globale verband is weergegeven in figuur 2.5.1.

*Figuur 2.5.1.
Globaal verband tussen aanlegkosten
van duikers en bruggen van gewapend
beton (prijspeil 1982).*



Met nadruk wordt erop gewezen dat figuur 2.5.1 slechts een indicatie geeft. Ook het verschil tussen bijvoorbeeld ter plaatse gestorte dan wel geprefabriceerde bruggen kan mede bepalend zijn voor de te kiezen constructie. Om tot een verantwoorde keuze te komen zal de ontwerper alle belangen tegen elkaar af moeten wegen.

2.5.2. Duikers

Materialen ten behoeve van duikers

Duikers kunnen van onder andere de volgende materialen zijn samengesteld:

- beton: ongewapend, gewapend en voorgespannen;
- staal: . gegolfd plaatstaal: spiraal gefelst, meerplatisch gebout;
 . vlakstaal : gietijzer;
- asbestcement;
- polyvinylchloride (pvc): massief al dan niet geprofileerd of met holle ruimten;
- gewapend polyester;
- polyethyleen.

Ten aanzien van de duurzaamheid van deze materialen behoeft, onder normale omstandigheden, geen onderscheid te worden gemaakt. Wel moeten stalen duikers zijn verzinkt en van een goede coating voorzien zijn. Onder sterk agressieve omstandigheden kan de voorkeur uitgaan naar duikers van bijvoorbeeld pvc of gewapend polyester, dan wel naar speciaal gecoate buizen van andere materialen.

Bij toepassing van plaatstaal dient bij de uitvoering bijzondere zorg te worden besteed aan de aanvulling naast en boven de duiker en de verdichting ervan.

Voor het leggen van duikers zijn Nederlandse Praktijkrichtlijnen opgesteld door KOMO en NNI-commissies (*Nederlands Normalisatie Instituut*, 1983).

Afmetingen van duikers

De afmetingen van een duiker worden in eerste instantie bepaald door de hoeveelheid water welke per tijdseenheid de duiker moet passeren en de toe te laten snelheid van het water. Daarnaast kunnen praktische overwegingen zoals bijvoorbeeld de bevaarbaarheid van de duiker of overdiepte als opvang voor toekomstige peilverlagingen een rol spelen bij het vaststellen van het profiel. De lengte van de duiker wordt veelal bepaald door het dwarsprofiel van het weglichaam waarin de duiker is gelegen.

Uit een oogpunt van continuïteit en veiligheid verdient het bij niet te dure duikers aanbeveling het volledige wegprofiel (verharding met bermen) over de duiker door te voeren. De duiker wordt dan niet als obstakel ervaren en leuningen kunnen achterwege blijven. Bij toepassing van grote duikers en/of bij aanwezigheid van brede bermen (bijvoorbeeld plantstroken) kan, om de bouwkosten te beperken, worden overwogen het weglichaam ter plaatse van de duiker te versmallen.

Hierbij moeten de minimum afmetingen aangehouden worden zoals die bij de bruggen in par. V. 2.5.3 staan beschreven.

Constructieve aspecten van duikers

Optredende belastingen

Een in de grond gelegde duiker wordt belast door:

- het eigen gewicht van de duiker;
- het gewicht van de watervulling van de duiker, indien deze boven de grondwaterspiegel is gelegen;
- het verkeer;

- het gewicht van het grondpakket boven de duiker;
- de afschuivingskrachten van de grond naast de duiker.

De duiker moet zodanig sterk zijn dat de erop werkende krachten kunnen worden opgenomen. Uit veiligheidsoverwegingen mag de duiker pas bezwijken als de erop werkende krachten een bepaalde overwaarde overschrijden. Deze overwaarde wordt veiligheidsfactor genoemd en kan als volgt worden weergegeven:

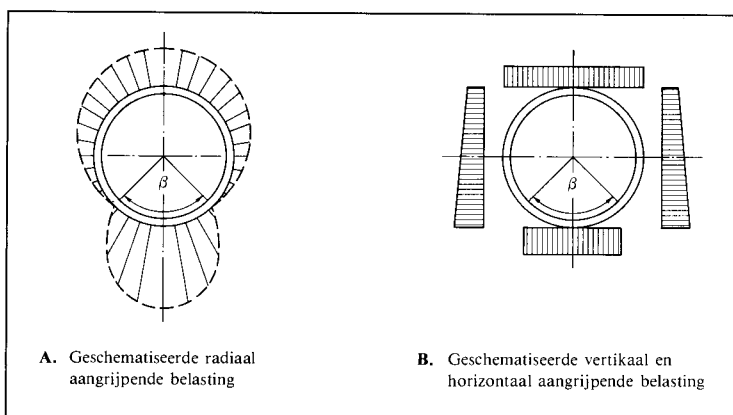
bezwijkgrens constructie

> veiligheidsfactor

eigen gewicht + gewicht watervulling + verkeer + grondbelasting factor

De veiligheidsfactor is minimaal 1,7 voor hoofdwegen en minimaal 1,5 voor platte-landswegen.

De belasting op een in de grond gelegde duiker zal radiaal aangrijpen; voor de berekening van de optredende krachten wordt het belastingspatroon onderverdeeld in horizontale en verticale krachten. In figuur 2.5.2 is dit schematisch weergegeven.



Figuur 2.5.2. Geschematiseerde belastingspatronen duikers.

In het navolgende zal nader op de verschillende belastingcomponenten worden ingegaan.

EIGEN GEWICHT DUIKERS

De invloed van het eigen gewicht op de berekening van de duiker is in veel gevallen relatief klein. Hierbij kan worden gedacht aan de situaties waarin kunststof, plaatstalen en betonprofielen met een doorsnede kleiner dan ca. 1.250 mm worden verwerkt. Behoudens in extreme gevallen kan het eigen gewicht van de duiker buiten beschouwing worden gelaten.

GEWICHT WATERVULLING

Het gewicht van de watervulling is voor de berekening alleen van belang als de duiker boven de grondwaterspiegel is gelegen. Duikers worden als regel beneden de grondwaterspiegel gelegd zodat bij de berekening van een duikerprofiel het vullingsgewicht niet relevant is.

VERKEERSBELASTING

De grootte van deze belasting op de duiker kan groot zijn en is vaak een punt van discussie.

Veelal komen de volgende punten aan de orde:

- de grootte van de verkeersbelasting op het maaiveld;
- de invloed van de bandenspanning;
- de aard en de dikte van de verhardingsconstructie;
- de hoogte en soort van het grondpakket boven de kruin van de buis;
- de rekenmethode voor de bepaling van de verkeersbelasting op de buis.

Het effect van de verkeersbelasting zal door de aanvulling boven de duiker gespreid worden en afnemen naarmate de gronddekking toeneemt.

Voor het berekenen van de belastingspreiding van lastenstelsels bestaan meerdere methoden. De meest bekende is de theorie van Boussinesq. Hierbij gaat men ervan uit dat de elasticiteitsmodules van de grond constant is en in alle richtingen gelijk.

Volgens Boussinesq geldt voor een wiellast:

$$P_v = \frac{3P \cos^3 \beta}{2\pi R^2} \quad \text{of} \quad P_v = \frac{3P \cos^5 \beta}{2\pi h^2} \quad (2.5.1)$$

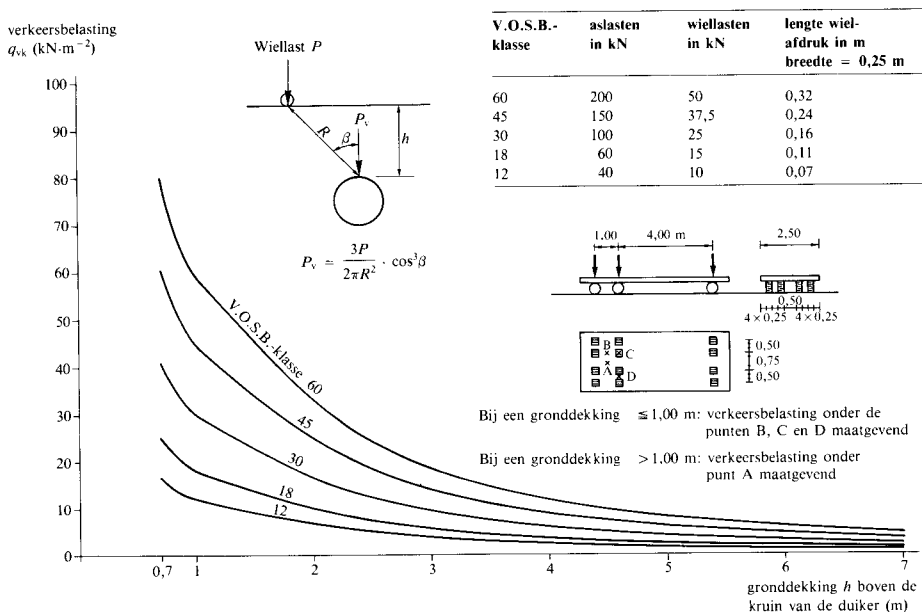
waarin:

P_v	= de resultante van de wiellast op de duiker	(kN)
P	= de wiellast (volgens de VOSB 1963)	(kN)
R	= de afstand tussen de aangrijppunten van de krachten P_v en P	(m)
h	= de gronddekking boven de kruin van de duiker	(m)
β	= de hoek waaronder de wiellast aangrijpt op de duiker	(°)

In figuur 2.5.3 is dit schematisch weergegeven.

Bij een gronddekking $\leq 1,00$ m zal het gewicht van het lastenstelsel maatgevend zijn onder de punten B, C en D, (zie waarde q_{vk} figuur 2.5.3) terwijl bij gronddekking $> 1,00$ m het lastenstelsel onder A maatgevend is voor de berekening.

In figuur 2.5.3 is voor een vijftal belastingklassen van de VOSB 1963 de belasting q_{vk} op de duiker in $\text{kN} \cdot \text{m}^{-2}$ weergegeven bij een variabele gronddekking h .



Figuur 2.5.3. Grafiek voor de bepaling van de verkeersbelasting op duikers volgens Boussinesq en de VOSB 1963.

De aard en dikte van de verhardingsconstructie zal de verticale drukspanning, welke als gevolg van de verkeersbelasting zal optreden, sterk verminderen, zoals blijkt uit de vergelijkingen van Burmister (zie figuur 2.5.4). Op grond hiervan kan voor de bepaling van de belasting op de duiker een grotere equivalente dekkingshoogte worden aangenomen. De mate waarin is afhankelijk van de verhouding: E -verharding/ E -ondergrond. De minimale dekking dient echter 0,70 m te bedragen; bij kleinere dekkingen is overleg met de fabrikant of constructeur vereist.

Indien er bijvoorbeeld een verhouding van 2 is tussen de elasticiteitsmoduli van verharding en ondergrond dan vermindert op een diepte van $2a$ onder het aangrijppunt van de drukkracht de drukspanning σ_v van 27 naar 23 van de oorspronkelijke spanning σ_0 ten opzichte van een verhouding van 1.

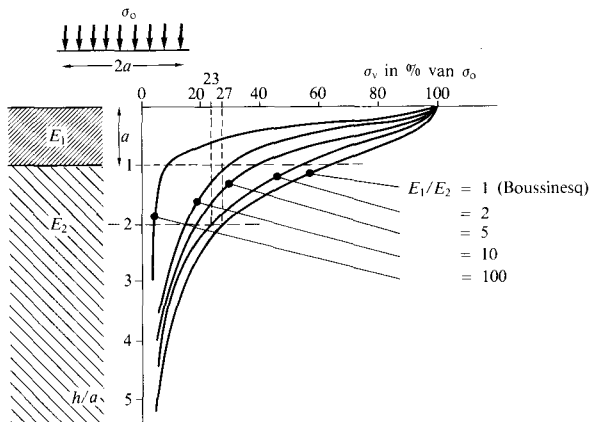
Anderzijds moet men zich realiseren dat tijdens de bouwperiode van de duiker, de duiker zwaar kan worden belast door het bouwverkeer dat de soms nog niet op juiste hoogte aangevulde duikersleuf kruist.

Naast de statische verkeersbelasting alsmede de spreiding ten gevolge van de verhardingsdikte en -soort, moet bij het berekenen van de verkeersbelasting rekening worden gehouden met het dynamische of stooteffect van het verkeer. De invloed hiervan wordt uitgedrukt in de zogenaamde stootcoëfficiënt (s). Voor deze coëfficiënt wordt in Nederland

voor plaatstalen duikers vaak de volgende relatie met de dekking op de duiker (h) aangenomen:

$$s = 1,4 - 0,1 h \quad (s_{\min} \geq 1)$$

Figuur 2.5.4.
Spanningsreductie
volgens Burmister.



E_1	= elasticiteitsmodulus van de verharding	($\text{N} \cdot \text{m}^{-2}$)
E_2	= elasticiteitsmodulus van de ondergrond	($\text{N} \cdot \text{m}^{-2}$)
a	= straal cirkelvorming oppervlak waarop σ_0 aangrijpt	(m)
σ_0	= gelijkmatige belasting op bovengrond uitgeoefend op cirkelvorming opp. met straal a	($\text{N} \cdot \text{m}^{-2}$)
σ_v	= verticale druk op de ondergrond	($\text{N} \cdot \text{m}^{-2}$)
h	= gronddekking	(m)

Voor betonnen duikers bij plattelandswegen of stadsstraten is s afhankelijk van de verkeersbelasting (tabel 2.5.1).

Tabel 2.5.1. Stootcoëfficiënten bij starre duikers in relatie tot de verkeersklasse.
(Stichting CUR-VB, 1985).

Verkeersklasse	Stootcoëfficiënt, s
30	1,4
45	1,3
60	1,2

De totale verkeersbelasting kan worden berekend volgens:

$$Q_{vk} = q_{vk} \cdot s \quad (2.5.2)$$

waarin:

$$Q_{vk} = \text{belasting op de duiker} \quad (\text{kN} \cdot \text{m}^{-2})$$

$$q_{vk} = \text{gespreide belasting (zie figuur 2.5.3)} \quad (\text{kN} \cdot \text{m}^{-2})$$

$$s = \text{stootcoëfficiënt.} \quad (-)$$

VERTICALE GRONDBELASTING

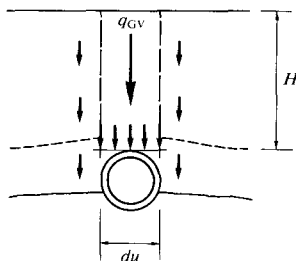
Voor starre duikers wordt de verticale grondbelasting bepaald met de theorie van Marston-Roske of van Leonhardt (zie hiervoor *Stichting CUR-VB*, 1985). De theorie van Marston-Roske is in hoofdzaak gebaseerd op de volgende aannamen:

- de gronddruk is gelijk aan het gewicht van de grond boven de kruin van de buis, vermeerderd met de wrijvingskrachten langs de sleufwanden;
- de grootte van de belasting is in sterke mate afhankelijk van het inklinken van de aanvulgrond.

Voor flexibele duikerberekeningen wordt hier verwezen naar de verschillende handboeken van de fabrikanten (pvc: *van de Bossen*; plaatstaal: *Kloppel-Glock*).

Figuur 2.5.5.

Schema verticale grondbelasting op duiker.



De grootte van de belasting kan worden berekend met de formule:

$$q_{GV} = \lambda_d \cdot H \cdot \rho \quad (\text{kN} \cdot \text{m}^{-2}) \quad (2.5.3)$$

waarin:

$$q_{GV} = \text{verticale gronddruk} \quad (\text{kN} \cdot \text{m}^{-2})$$

$$\lambda_d = \text{factor voor de grondbelasting} \quad (-)$$

$$H = \text{hoogte aanvulling boven de kruin van de duiker} \quad (\text{m})$$

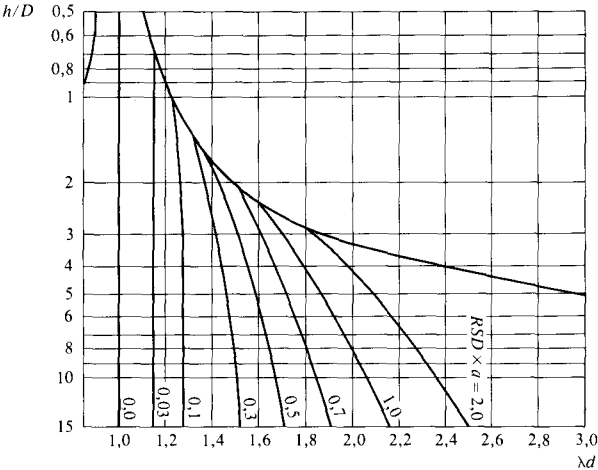
$$\rho = \text{volumegewicht van de grond} \quad (\text{kN} \cdot \text{m}^{-3})$$

In formule 2.5.3 is λ_d een factor welke vooral van belang is bij de bepaling van de grond-druk op ronde duikerprofielen. Het is een getal bepaald door de verhouding tussen grond-aanvulling en breedte van de duiker enerzijds en het produkt van het zettingsdoorbuigingsgetal (RSD) en de beddingsfactor (a) anderzijds.

Het zettingsdoorbuigingsgetal (RSD) kan gedefinieerd worden als de zetting (doorbuiging) van het duikerprofiel ten opzichte van die van de grond ernaast. Voor starre buizen kunnen waarden tussen 0 en 1,0 worden aangehouden.

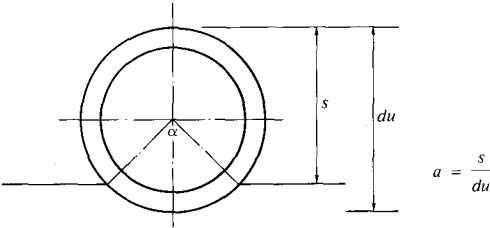
De waarden van λ_d kan worden bepaald met behulp van de grafiek van figuur 2.5.6.

Figuur 2.5.6.
Grafische weergave horizontale
belasting op ronde duiker.



De beddingsfactor (a) wordt bepaald door de verhouding tussen de afstand kruin duiker en ongeroerde grond van de sleufbodem en de totale hoogte van de duiker. Een en ander is weergegeven in figuur 2.5.7.

Figuur 2.5.7.
Beddingsfactor a .



Uit figuur 2.5.7 blijkt dat de beddingsfactor a mede afhankelijk is van de breedte waarover de buis is opgelegd, hetgeen uitgedrukt wordt in de aanvangsopleghoek α . In tabel 2.5.2 is voor verschillende aanvangsopleghoeken de berekende beddingsfactor a gegeven.

Tabel 2.5.2. Beddingsfactor a in relatie tot de aanvangsopleghoek α .

α	90°	75°	60°	45°	30°
factor a	0,85	0,90	0,93	0,96	0,98

HORizontALE GRONDDRUK

In het algemeen kan worden gesteld dat horizontale gronddrukken passief optreden en daardoor de buisconstructie ontlasten. Bij toepassing van flexibele buizen zoals plaatstaal of p.v.c. wordt de passieve horizontale gronddruk als een essentieel onderdeel in de sterkteberekening van de buis opgenomen.

Eventuele horizontale vervormingen als gevolg van verticale belastingen worden tegengegaan door de dan optredende passieve horizontale gronddruk.

De grootte van de belasting kan uit figuur 2.5.8. worden bepaald door:

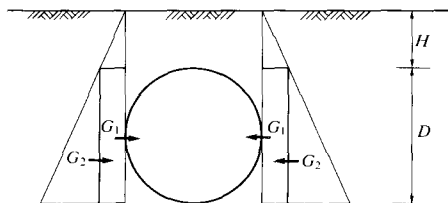
$$Q_H = G_1 + G_2 = (H + 0,5D) \cdot D \cdot \rho \cdot \tan^2(45^\circ - 0,5\varnothing) \quad (2.5.4)$$

waarin:

ρ = volumegewicht van de aanvulgrond

$\varnothing$ = wrijvingshoek van de aanvulgrond.

Figuur 2.5.8.
Schematische weergave horizontale
belasting op ronde duiker.



Uitgaande van de berekende belastingen op het duikerelement en de aangrijppingspunten van deze belastingen kunnen de krachten en momenten in de buisdoorsnede worden berekend.

Op de sterkteberekening van de duikerconstructie zal, gezien de gecompliceerdheid van de materie, in dit kader niet worden ingegaan maar wordt verwezen naar bestaande rekenmethoden (bijv. *Stichting CUR-VB*, 1985). Voor uitvoeringseisen en voorschriften wordt verwezen naar Nederlandse Praktijkrichtlijnen (*Nederlands Normalisatie Instituut*, 1983 en 1984).

Bij normale toepassing van "starre" duikerconstructies (beton, gewapend of ongewapend) is het voor de ontwerper meestal niet noodzakelijk de duikerconstructie te bereke-

nen. De voor deze duikers voorgeschreven kwaliteitseisen zijn gestandaardiseerd en afgestemd op normale werkomstandigheden en belastingen.

Wel is het noodzakelijk dat de ontwerper de berekende belastingen toetst aan de voor het gekozen duikertype voorgeschreven kwaliteitseisen (minimale breukbelasting) en de veiligheidsfactor.

In bijzondere gevallen is het maken van een sterkteberekening noodzakelijk, bijvoorbeeld bij fundatie op palen of gronddekkingen kleiner dan 0,70 m en groter dan 4,00 m.

Bij gebruik van kleine flexibele buisconstructies in lichtbelaste situaties, zoals in toegangsdammen en dergelijke is het uitvoeren van sterkteberekeningen weinig zinvol. Wel moeten, omdat de aanaarding en fundering bij dit buistype deel uitmaakt van de constructie, de door de fabrikant opgestelde uitvoeringsvoorwaarden nauwkeurig worden gevolgd. Indien dit duikertype wordt toegepast onder wegen, dijken en dergelijke is het gewenst de vereiste duikersterkte middels een berekening vast te stellen. Voor het berekenen en op de goede wijze leggen van plaatstalen duikers wordt verwezen naar de Nederlandse Praktijkrichtlijnen (*Nederlands Normalisatie Instituut*, 1983).

Fundering duikers

Algemeen

Bij het ontwerpen van duikers is het van groot belang een goed inzicht te hebben in het dragend vermogen van de ondergrond alsmede in de mogelijkheden van het ontwerp en de uitvoeringsmethodiek. Zo stellen bijvoorbeeld starre duikerconstructies van beton geheel andere eisen aan een fundering dan zogenaamde flexibele duikerconstructies van plaatstaal. Het is daarom noodzakelijk dat de ontwerper, bij de keuze van het duikertype en de wijze van funderen, de door de fabrikant verstrekte informatie betreffende de sterkte-eigenschappen van het duikermateriaal toetst aan de onderhavige situatie.

In het algemeen kan worden gesteld dat zolang het gewicht van de duiker (inclusief vuling) lager is dan het gewicht van de vervangende grond er in principe geen extra voorzieningen voor fundatie nodig zijn. Men spreekt dan van "fundatie op staal".

Is de duiker zwaarder dan de vervangende grond en/of worden er bijzondere eisen gesteld aan de hoogteligging, bijvoorbeeld in het geval van bevaarbaarheid van het kunstwerk, dan zal gefundeerd moeten worden op de vaste grondslag. Is die diep gelegen dan zal de afstand tussen de duiker en die ondergrond met palen moeten worden overbrugd. Voor het funderen van duikers kunnen aldus de volgende mogelijkheden worden onderscheiden:

- | | |
|--------------------------|----------------------------|
| a. op staal funderen | - direct op de sleufbodem |
| | - sleufbodem voorbewateren |
| | - grondverbetering |
| | - houten roosterwerk |
| | - betonsloof of -plaat |
| b. palen (hout of beton) | - kespen |
| | - betonsloof of -plaat. |

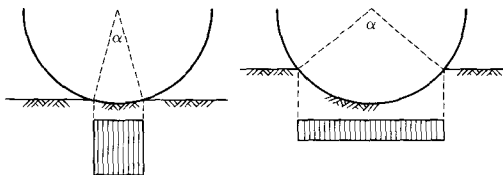
In het navolgende zal op deze funderingsmethodieken een korte toelichting worden gegeven, waarna de aandacht zal worden gevestigd op een zeer belangrijk aspect bij fundatie van duikers: het aanvullen van de sleuf.

Fundering op staal

Bij het funderen op staal is het voor de sterkte van de duiker van belang dat de oplegreactie over een zo'n groot mogelijk oppervlak wordt overgebracht op de sleufbodem. Dit betekent dat voor toepassing van buizen met een vlakke voet of bodemvlak bijvoorbeeld rechthoekige of muilprofielen, de sleufbodem zodanig moet worden afgewerkt dat de gewichtsoverdracht over het gehele bodemoppervlak kan plaatsvinden. Bij het gebruik van ronde of ovaal gevormde buizen moet een gunstige opleghoek worden gecreëerd. Wordt de buis direct op de bodem gelegd van een sleuf welke is gegraven in een weinig samen-drukbare grond zoals bijvoorbeeld zand of vaste klei, dan zal het spanningsverloop in de buisdoorsnede, bij een gelijkblijvende belasting, ongunstiger verlopen dan de situatie waar men voor de duiker de sleufbodem heeft voorgevormd en daarmee de opleghoek heeft vergroot. In figuur 2.5.9 is dit weergegeven.

Figuur 2.5.9.

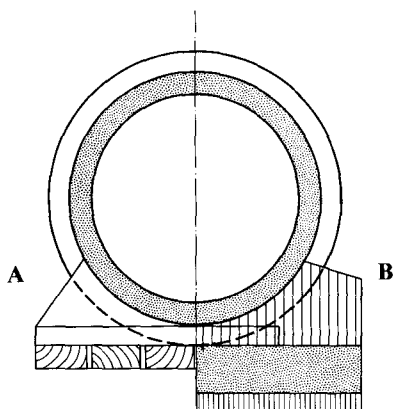
Schematische weergave verschil in opleg-druk door vergroten van de opleghoek α .



Is het voorvormen van de sleufbodem, door bijvoorbeeld de samenstelling van de grondslag, niet mogelijk dan kan het uitvoeren van een grondverbetering worden overwogen. Een grondverbetering bestaat als regel uit het vervangen van $\pm 0,30$ m bestaande grondslag door zand of een ander stabiliserend materiaal zoals zand-cementmengsel, slakkenzand en dergelijke. Bij het gebruik van plaatstalenduikers moet indien de duiker op een grondverbetering wordt gelegd, de voorkeur worden gegeven aan zand als vervangende grond. Het zal duidelijk zijn dat bij toepassing van de zogenaamde flexibele duikerconstructie het bereiken van een gunstige opleghoek essentieel is. Wordt de duiker gelegd in een heterogene grondslag en/of wordt de duiker in de lengterichting wisselend belast, dan kunnen ongelijke zettingen van de duikerelementen onderling plaatsvinden. Om de belasting dan gelijkmatig op de ondergrond over te brengen kan de duiker worden gefundeerd op een houten roosterwerk (A) of een gewapend betonnen sloof (B) volgens figuur 2.5.10. Voor het funderen van rechthoekige duikers worden ook de zogenaamde gewapende betononderslagbalken geleverd. Rechthoekige duikers met een breedte van meer dan 2,50 m moeten in verband met de handelbaarheid tijdens het stellen van de elementen altijd op een stelvloer worden geplaatst van bijvoorbeeld gewapend beton of hoogovenslakken. Ook is het mogelijk rechthoekige duikers te koppelen waardoor een stijve ligger wordt verkregen. De beoogde koppeling wordt verkregen door de duiker na het stellen van de elementen voor te spannen met hoogwaardige staaldraden welke in de lengterichting van de duiker worden ingevoerd.

Figuur 2.5.9.

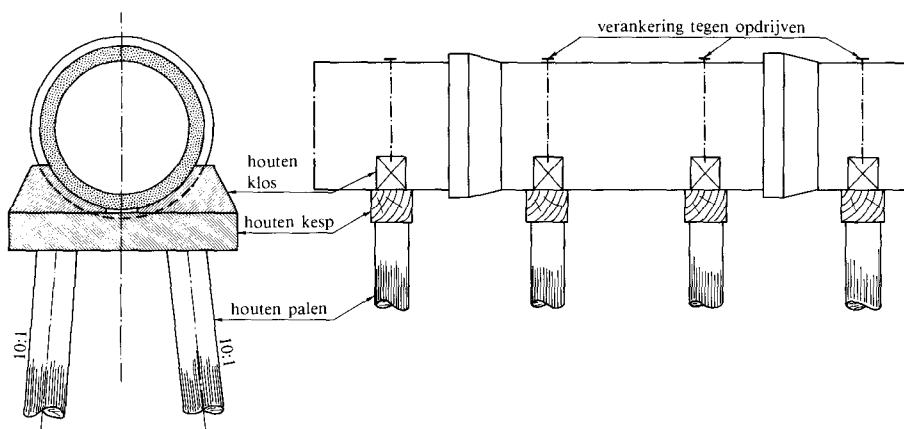
Fundatie ronde duiker door middel van houten roosterwerk (A) of gewapend betonnen sloof (B).



Fundering op palen

Indien men door eerdergenoemde omstandigheden genoodzaakt is een duiker op palen te funderen, dan zijn er, afhankelijk van het toe te passen duikertype, verschillende constructies mogelijk. Hierbij wordt het aantal en de lengte van de palen bepaald door de grondslag en de berekende belasting op de duiker.

In figuur 2.5.11 is een constructie weergegeven voor het funderen van een normaal gewapende, ronde betonnen buis met mof- en spieverbinding. De duiker wordt opgelegd op een onderheide houten kesp.

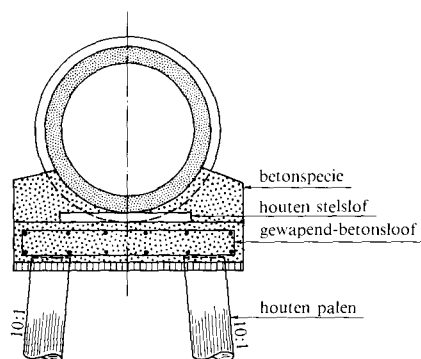


Figuur 2.5.11. Fundatie op palen van normaal gewapende duiker.

Teneinde een gunstige opleghoek te verkrijgen, worden op de kespen houten klossen bevestigd. Per buislengte worden minimaal 2 paaljukken toegepast, ook indien dit voor de optredende bovenbelasting niet noodzakelijk is. Hierbij is het noodzakelijk dat de jukken op exacte hoogte worden gemaakt. Dit om te vermijden dat de mof- en spieverbinding dwarskrachten moeten opnemen. Bij het bezwijken van een buisverbinding zou een kettingreactie de standzekerheid van de buis ernstig kunnen verstoren.

Een mogelijkheid voor het funderen van ronde ongewapende duikers is weergegeven in figuur 2.5.12. De buizen worden gesteld op een doorgaande, onderheide betonsloof. Na het stellen van de buis wordt, ten behoeve van de goede opleghoek, de buis in lengterichting aangestort met betonspecie. De betonnen sloof kan zowel in het werk worden gestort als in delen worden geprefabriceerd.

*Figuur 2.5.12.
Voorbeeld fundatie van ronde ongewapende duiker.*

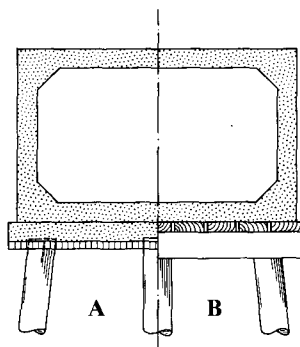


Tussen de constructies van de figuren 2.5.11 en 2.5.12 is een fundamenteel verschil. Bij de fundering met paaljukken wordt de buis, na aanvulling van de sleuf, op buiging belast. Bij de constructie met de doorgaande onderheide gewapend betonplaat daarentegen worden de belastingen door deze plaat opgenomen: er is een scheiding van transport- en draagfunctie. Bovendien wordt in het laatste geval het aantal paaljukken niet bepaald door de lengte van de duikerelementen.

Naast bovengenoemde constructies is er nog de mogelijkheid gebruik te maken van extra gewapende betonbuizen die geschikt zijn een balkfunctie te vervullen. De extra wapening ligt vooral in de mof, die in staat is dwarskrachten op te nemen in de lengterichting van de buis en ter plaatse van het juk. Uiteraard kan hierbij ook gebruik gemaakt worden van de relatief duurdere, in lengterichting voorgespannen betonbuizen en betonbuizen met plaatstalen kern. Per buis kan bij deze constructie met een paaljuk worden volstaan.

Naar analogie van de fundering bij ronde buizen is voor duikerelementen met vlakke voet, zoals rechthoekige en muilprofielen, fundatie mogelijk volgens figuur 2.5.13. In het linker gedeelte van deze figuur (A) is de doorgaande gewapend betonplaat weergegeven; in het rechter gedeelte (B) een houten roosterwerk op onderheide kespen. De "hart op hart"-afstand tussen de paaljukken wordt bepaald door de verticale belasting (A) of de gekozen

*Figuur 2.5.13.
Voorbeeld fundatie duiker
met vlakke voet.*

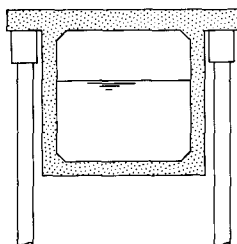


constructievorm (B). Op grond van constructieve overwegingen moet, zeker voor de grotere en daardoor zwaardere profielen, de voorkeur worden gegeven aan toepassing van de doorgaande gewapend betonnen funderingsplaat.

Een andere mogelijk tot funderen van rechthoekige profielen is het toepassen van de zogenaamde "hangduiker" volgens figuur 2.5.14. Hierbij zijn de palen langer dan bij de voorgaande constructies, waardoor ze veelal boven de grondwaterstand uitkomen. Rekening moet dan ook worden gehouden met toepassing van betonpalen.

De naden tussen de elementen kunnen vanaf de bovenkant worden gevuld. Omdat hierdoor de bouwput minder lang en soms ook minder diep behoeft te worden drooggezet, kan toepassing van deze constructie aantrekkelijk zijn.

*Figuur 2.5.14.
Hangduiker.*



Opgemerkt dient nog te worden dat in verband met gevaar voor opdrijven, (bij droogzetten van de duiker bijvoorbeeld) ook aan verankering aandacht moet worden geschonken (zie bijvoorbeeld figuur 2.5.11).

Aanvullen van de sleuf

Zoals in de paragraaf "Constructieve aspecten van duikers" reeds is beschreven, werken horizontale krachten ontlastend op een duikerconstructie. Door een duikersleuf in lagen van 0,30 m aan te vullen tot de kruinhoogte van de duiker en elke laag mechanisch te verdichten, wordt de zijdelingse opsluiting bevorderd en zal de toelaatbare verticale

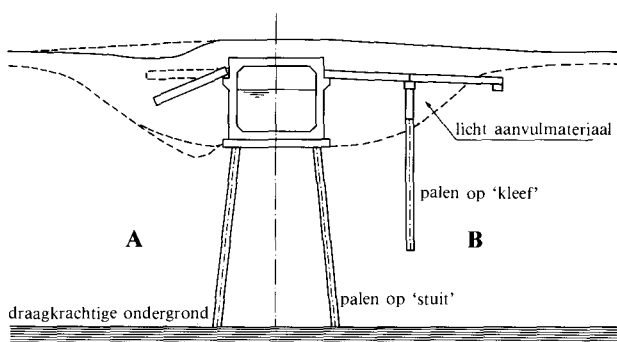
belasting op de duiker worden verhoogd. Voor ronde betonbuizen gelegd op een voorbewerkte sleufbodem met een goed aangevulde en verdichte sleuf kan de toelaatbare kruinbelasting circa 50% hoger zijn dan voor de situatie waarin de duiker wordt gelegd op een onbewerkte bodem en de sleuf zonder eisen wordt aangevuld.

Bij toepassing van plaatstalen duikers zijn bijzondere aanvullings- en verdichtingsmaatregelen vereist omdat hieraan een groot gedeelte van de sterkte-eigenschappen worden ontleend. In dit verband kan worden verwezen naar de Nederlandse Praktijkrichtlijnen voor het leggen van plaatstalen duikers zoals die zijn opgesteld door de KOMO commissie "Duikers van gegolfd plaatstaal". (*Nederlands Normalisatie Instituut*, 1983 en 1984).

Het met zorg aanvullen en verdichten van de duikersleuf voorkomt of vermindert tevens het nazakken van de aanvulgrond, hetgeen vooral bij sleuven onder verhardingsconstructies van groot belang is.

Als nadeel van het funderen op palen kan worden aangemerkt dat bij zettingen in de grondslag de duiker zich door middel van de zogenaamde katterug zal manifesteren in het terrein. Vooral wanneer de duiker is gelegen onder een verhardingsconstructie zal het verkeer hiervan veel hinder ondervinden en de onderhoudskosten aan verhardingsconstructie en voertuigen doen stijgen. Het is daarom wenselijk om het effect van de ongelijke zettingen ter plaatse van de duiker zoveel mogelijk te voorkomen door in een duikerontwerp de zogenaamde stootplaatconstructie op te nemen.

In gebieden met een zeer slechte ondergrond kan het beoogde effect van de stootplaatconstructie gering zijn doordat platen vanwege het eigen gewicht gaan kantelen, zie figuur 2.5.15.A.



Figuur 2.5.15. Dwarsdoorsnede duiker onder wegconstructie.

In een dergelijke situatie is het te overwegen de stootplaten op te leggen op een onderheid juk (zie figuur 2.5.15.B). De palen worden, om geen absoluut star punt te maken, op kleefgeheid en de lengte wordt in het werk bepaald.

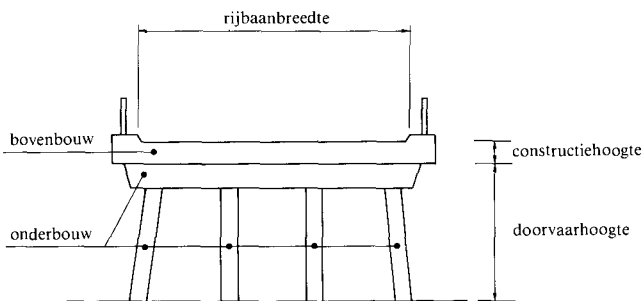
2.5.3. Bruggen

Definities

Een brug is opgebouwd uit een onder- en bovenbouw, waarbij tot de onderbouw worden gerekend de landhoofden en tussensteunpunten inclusief de fundering (zie figuur 2.5.16).

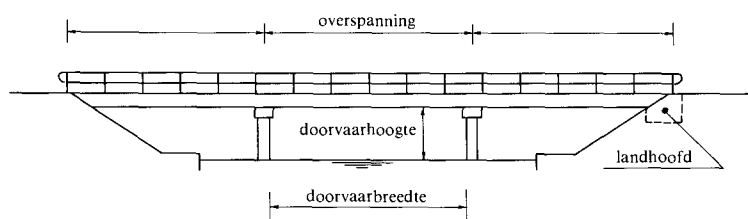
Op de onderbouw rust de constructie van het rijdek: de bovenbouw.

Hierbij wordt de afstand tussen de bovenkanten van onder- en bovenbouw constructiehoogte genoemd.



Figuur 2.5.16. Dwarsdoorsnede brug.

Door de beheerder van het te kruisen vaarwater kan om diverse redenen worden geëist dat in het ontwerp met een minimumdoorvaarhoogte of -breedte wordt gerekend. In figuur 2.5.17 zijn deze grootheden weergegeven. De hart-op-hart-afstand tussen twee ondersteuningspunten wordt een veld genoemd.



Figuur 2.5.17. Aanzicht lengteprofiel brug.

Is de constructie van de brug zodanig dat de bovenbouw over 2 of meer velden is geconstrueerd dan spreekt men van een statisch onbepaalde constructie. Indien de constructie van steunpunt naar steunpunt wordt gemaakt, is er sprake van een statisch bepaalde constructie. In het plattelandswegennet is de rijvloer van de brug meestentijds hooggelegen. Dit wil zeggen dat de rijvloer zich boven de hoofdliggers bevindt. Indien de beschikbare constructiehoogte beperkt is, kan de rijvloer tussen de hoofdliggers geconstrueerd worden. Men spreekt dan van een verzonken rijvloer.

Materialen ten behoeve van bruggen

Als materialen voor bruggen komen in aanmerking: hout, steen, gewapend beton, voorgespannen beton en staal. De keuze is van vele factoren afhankelijk. Genoemd kunnen worden:

- de soort en zwaarte van het verkeer dat van de brug gebruik gemaakt;
- de eisen gesteld door de beheerder van de waterweg;
- landschappelijke inpassingswensen;
- beschikbaarheid van de materialen en de situering van de bouwlocatie;
- kostprijs van de gebruikte materialen.

Afmetingen van bruggen

Met uitzondering van de wegtypen 3 en 4 kan de breedte van de brug tussen de schampkanten 1,00 m breder gekozen worden dan de verhardingsbreedte van de weg, waarin de brug is gelegen. Door deze verbreding ervaart het verkeer de brug niet als obstakel, waardoor onverwachte verkeersmanoeuvres uitblijven en de verkeersveiligheid niet nadelig wordt beïnvloed.

Bij bruggen in plattelandswegen type 4 wordt voor de breedte van de brug tussen de schampkanten de verhardingsbreedte plus 2,00 m aangehouden. Dit omdat een aantal van deze wegen later worden verbreed tot 5,50 m.

Bij bruggen in plattelandswegen type 3 wordt als breedte tussen de schampkanten de verhardingsbreedte plus 1,50 m aangehouden. Dit vanwege het (brom)fietsverkeer van of naar de veelal langs die wegen gelegen boerderijen en woningen. Hierdoor wordt tevens een eventuele verbreding van de verharding van type 3 naar type 4 mogelijk met handhaving van de bestaande brug. De brug kan in het laatste geval door het verkeer wel enigszins als een obstakel worden ervaren.

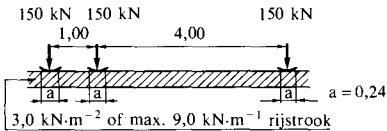
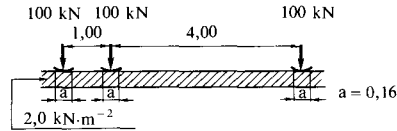
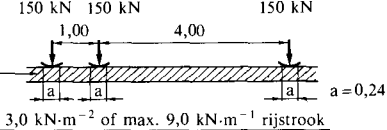
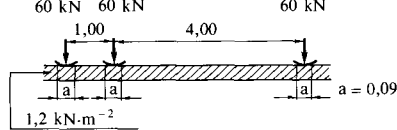
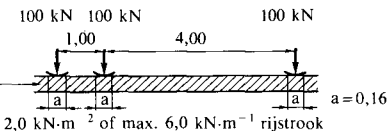
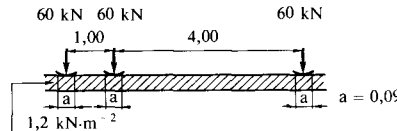
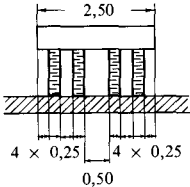
De breedte-afmetingen van de diverse bruggen zijn weergegeven in figuur 2.5.18 en in tabel 2.5.3.

Tabel 2.5.3. Ontwerpbreedten van bruggen, voor verschillende wegtypen.

Wegtype	Breedte tussen de schampkanten (m)	Breedte tussen de leuningen (m)
4 en 5	6,50	7,00
3	5,00	5,50
1 en 2	3,50	4,00
toegangsbrug naar boerderij	3,50	4,00 ¹⁾
toegangsweg naar kavel	4,00	- ²⁾
tussen 2 kavels	3,50	- ²⁾

Opm. ¹⁾ leuninghoogte max. 0,50 m

²⁾ zonder leuning, eventueel met schampbalk.

BRUGGEN IN PLATTELANDSWEGEN	TOEGANGSBRUGGEN
<i>type 4 en 5</i> breedte tussen de schampkanten 6,50 breedte tussen de leuningen 7,00 <i>belastingklasse 45</i>  3,0 kN·m⁻² of max. 9,0 kN·m⁻¹ rijstrook $a = 0,24$	<i>naar boerderij</i> breedte tussen de schampkanten 3,50 breedte tussen de leuningen 4,00 ¹⁾ <i>belastingklasse 30</i>  2,0 kN·m⁻² $a = 0,16$
<i>type 3</i> breedte tussen de schampkanten 5,00 breedte tussen de leuningen 5,50 <i>belastingklasse 45</i>  3,0 kN·m⁻² of max. 9,0 kN·m⁻¹ rijstrook $a = 0,24$	<i>naar kavel</i> breedte 4,00 ²⁾ <i>belastingklasse 18</i>  1,2 kN·m⁻² $a = 0,096$
<i>type 1 en 2</i> breedte tussen de schampkanten 3,50 breedte tussen de leuningen 4,00 ¹⁾ <i>belastingklasse 30</i>  2,0 kN·m⁻² of max. 6,0 kN·m⁻¹ rijstrook $a = 0,16$	<i>tussen twee kavels</i> breedte 3,50 ²⁾ <i>belastingklasse 18</i>  1,2 kN·m⁻² $a = 0,096$
<i>alle bruggen</i> wagenbreedte 2,50 verdeling asdruk over vier wielen  4 x 0,25 0,50	¹⁾ leuninghoogte max. 0,50 ²⁾ zonder leuning, eventueel met schampbalk maten in m

Figuur 2.5.18. Afmetingen en belastingen van bruggen in plattelandswegen.

Constructieve aspecten van bruggen

Optredende belastingen

Bij bruggen heeft men te maken met de volgende belastingen:

- mobiele puntlasten door de wielen op het brugdek uitgeoefend;
- gelijkmatig verdeelde mobiele belasting volgens de VOSB 1963 (NEN 1008);
- het eigen gewicht van de brug;
- de windbelasting op de brug c.q. op de zich daarop bevindende voertuigen;
- eventueel remkrachten.

Al deze krachten, horizontaal dan wel verticaal werkend op de constructie, moeten naar de fundering worden geleid. Elk onderdeel van de brug moet daarom als schakel kunnen functioneren teneinde de uitwendige krachten op te nemen en te voldoen aan de daaraan gestelde eisen. Deze eisen zijn in diverse voorschriften vastgelegd. Voor bruggen in plattelandswegen zijn de *Voorschriften voor het Ontwerpen van Stalen Bruggen*, VOSB 1963 (NEN 1008) en de *Voorschriften Beton*, VB 1974/1984 (NEN 3880) van groot belang. Deze laatste voorschriften worden momenteel (1988) aangevuld c.q. vervangen door:

- de *Voorschriften Beton Technologie*, VBT 1986 (NEN 5950)
- de *Voorschriften Beton Uitvoering*, VBU 1988 (NEN 6722)
- de *Technische Grondslagen voor de berekening van Bouwconstructies Beton*, TGB Beton (NEN 6720)
- de *Voorschriften Beton Ontwerp en berekening*, VBO (NEN 6721)

Uit de VOSB 1963 zijn voor de belasting de volgende artikelen van speciaal belang.

Voor wat betreft de verticale belasting:

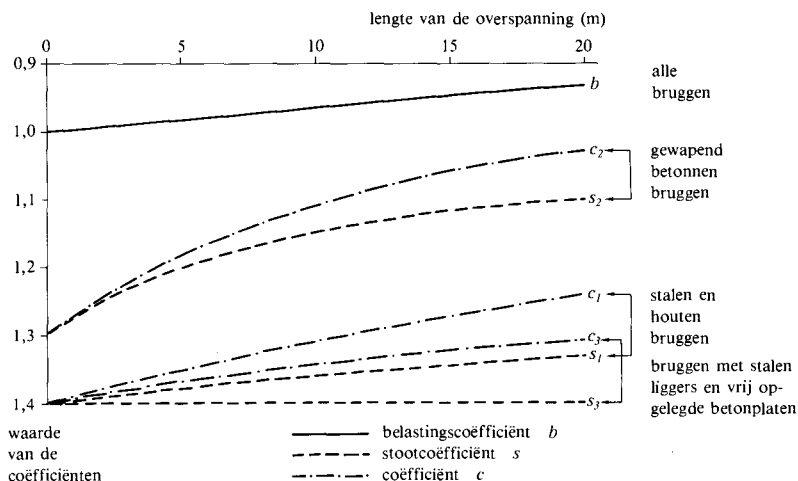
- het eigen gewicht van de brug (artikelen 3 en 4);
- de algemene omschrijving van de mobiele belasting (artikel 5);
- belasting van de rijweg (artikel 9);
- belasting van de schampkanten (artikel 10);
- stand van de belasting in langs- en dwarsrichting van de brug (artikelen 12 en 13);
- stoot- en belastingscoëfficiënt (artikelen 14 en 15).

Voor wat betreft de horizontale belasting:

- belasting van de leuningen (artikel 18);
- remkrachten (artikel 20);
- weerstand van de opleggingen (artikel 21).

De op deze artikelen gebaseerde en aan te houden belastingsschema's voor plattelandswegen zijn weergegeven in figuur 2.5.19 en tabel 2.5.4 In de hoofdstukken III en IV van de VOSB 1963 zijn bepalingen opgenomen betreffende de wijze van berekenen en de constructie alsmede de toelaatbare spanningen.

BRUGGEN VOOR GEWOON VERKEER



Figuur 2.5.19. Grafiek voor de bepaling van de belastingcoëfficiënt, de stootcoëfficiënt en de coëfficiënt bij bruggen voor gewoon verkeer, overeenkomstig de VOSB 1963 en de VB 1974/1984.

Voor wat betreft de toe te passen belastingklasse geldt voor de wegen van typen 3, 4 en 5 dat hetzelfde verkeer van deze wegcategorieën gebruik maakt. De plattelandsweg type 5 vormt veelal de verbinding tussen twee dorpskernen en de verkeersintensiteit benadert soms die van wegen van hogere orde. Op plattelandswegen type 4 is de intensiteit geringer, maar het type voertuigen vergelijkbaar met die op type 5. Om het verkeer dat gebruik maakt van de wegen typen 4 en 5 bij de bedrijven langs de type 3 wegen te kunnen laten komen, wordt op alle drie de categorieën klasse 45 VOSB 1963 aanbevolen.

Bruggen in plattelandswegen typen 1 of 2 en toegangsbruggen naar boerderijen kunnen zonder bezwaar volgens belastingklasse 30 worden berekend. Vanwege de geringere snelheid op deze wegen kan de invloed van de stootcoëfficiënt tot 1/3 van die op een plattelandsweg type 3 teruglopen.

Voor bruggen naar kavels of tussen 2 kavels kunnen belastingen worden aangehouden welke ook voor de kavels zelf worden toegelaten.

Vanwege de toenemende aslasten moeten deze bruggen minimaal volgens belastingklasse 18 worden ontworpen.

In de VB 1974/1984 (NEN 3880) zijn bepalingen opgenomen waaraan moet worden voldaan bij ontwerpen, berekenen en uitvoeren van constructies in beton.

Momenteel (1988) worden de *Voorschriften Beton*, VB 1974/1984 (NEN 3880) herzien.

Naast een nieuwe indeling van de voorschriften wordt tegelijkertijd gewerkt aan harmonisatie met Europese- (EN) en wereld- (ISO) normen. In het kader van deze technische vraagbaak zal worden volstaan met het aangeven van de globale inhoud van de huidige voorschriften alsmede van de toekomstige opzet.

Tabel 2.5.4. Tabel voor de bepaling van de belastingcoëfficiënt, de stootcoëfficiënt en de coëfficiënt c bij bruggen voor gewoon verkeer, overeenkomstig de VOSB 1963 en de VB, 1974/1984.

aan te houden overspan- ningslengte L in m	Alle bruggen	Stalen en houten bruggen		Gewapend betonnen bruggen		Bruggen met stalen liggers en vrij opgelegde betonplaten	
	belasting- coëfficiënt b	stoot- coëfficiënt s_1	coëfficiënt c_1	stoot- coëfficiënt s_2	coëfficiënt c_2	stoot- coëfficiënt s_3	coëfficiënt c_3
	$0,6 + \frac{40}{100+L}$	$1 + \frac{40}{100+L}$	$b \times s$	$1 + \frac{3}{10+L}$	$b \times s$	constant	$b \times s$
0	1,00	1,40	1,40	1,30	1,30	1,40	1,40
1	1,00	1,40	1,39	1,27	1,27	1,40	1,39
2	0,99	1,39	1,38	1,25	1,24	1,40	1,39
3	0,99	1,39	1,37	1,23	1,22	1,40	1,38
4	0,99	1,39	1,36	1,21	1,20	1,40	1,38
5	0,98	1,38	1,35	1,20	1,18	1,40	1,37
6	0,98	1,38	1,35	1,19	1,16	1,40	1,37
7	0,97	1,37	1,34	1,18	1,15	1,40	1,36
8	0,97	1,37	1,33	1,17	1,13	1,40	1,36
9	0,97	1,37	1,32	1,16	1,12	1,40	1,35
10	0,96	1,36	1,31	1,15	1,11	1,40	1,35
11	0,96	1,36	1,31	1,14	1,10	1,40	1,34
12	0,96	1,36	1,30	1,14	1,09	1,40	1,34
13	0,95	1,35	1,29	1,13	1,08	1,40	1,34
14	0,95	1,35	1,28	1,13	1,07	1,40	1,33
15	0,95	1,35	1,28	1,12	1,06	1,40	1,33
16	0,95	1,35	1,27	1,12	1,05	1,40	1,32
17	0,94	1,34	1,26	1,11	1,05	1,40	1,32
18	0,94	1,34	1,26	1,11	1,04	1,40	1,31
19	0,94	1,34	1,25	1,10	1,03	1,40	1,31
20	0,93	1,33	1,24	1,10	1,03	1,40	1,31
21	0,93	1,33	1,24	1,10	1,02	1,40	1,30
22	0,93	1,33	1,23	1,09	1,02	1,40	1,30
23	0,93	1,33	1,23	1,09	1,01	1,40	1,30
24	0,92	1,32	1,22	1,09	1,00	1,40	1,29
25	0,92	1,32	1,21	1,09	1,00	1,40	1,29

Coëfficiënt c = belastingcoëfficiënt $b \times$ stootcoëfficiënt s

De VB 1974/1984 bestaat uit een gemeenschappelijk deel en aparte delen met aanvullende bepalingen voor in het werk gestort, vooraf vervaardigd, ongewapend, gewapend, voorgespannen en licht beton.

De nieuwe betonvoorschriften zullen een op de voornaamste gebruikersgroepen gebaseerde indeling krijgen namelijk:

- de TGB Beton, als "grondwet" voor betonconstructies (NEN 6720);
- de VBT 1986, met alle betontechnologische bepalingen (NEN 5950);
- de VBU 1988, met alle bepalingen omtrent de uitvoering van betonconstructies (NEN 6722);

- de VBO, met alle bepalingen voor de constructeur (NEN 6721).

De VBT 1986 die als eerste in de nieuwe serie is verschenen, en welke officieel op 1 april 1987 van kracht is geworden, vervangt alle betontechnologische bepalingen uit de thans van kracht zijnde VB 1974/1984 (NEN 3880).

De belangrijkste wijzigingen in de VBT 1986 ten opzichte van de VB 1974/1984 betreffen de invoering van nieuwe sterkteklassen, de invoering van milieuklassen, het vervallen van de uitvoeringsklassen, het achterwege kunnen laten van een afname controle in geval gecertificeerde produkten worden toegepast, en een nieuwe aanpak van het onderzoek aan de constructie.

De in de VBT 1986 gekozen sterkteklassen (B5, 15, 25, 35, 45 en 55) komen overeen met de voorkeurreeks uit de Europese Norm.

Voor wat betreft de indeling in milieuklassen zal bij kunstwerken minimaal beton milieuklasse 3 toegepast moeten worden. Afhankelijk of van "normaal" gebruik of van constructies in en aan zee (milieuklasse 4) of in agressieve milieus (milieuklasse 5A = zwak agressief tot milieuklasse 5D = zeer sterk agressief) sprake is, worden eisen gesteld aan het beton. Dit gebeurt middels een maximum water-cementfactor, een minimum cementgehalte, minimum luchtpercentage danwel de keuze van het toe te passen cement.

Indien een product is gecertificeerd en erkend door de Raad voor de Certificatie, mag worden besloten af te zien van afnamecontrole. Dit geldt met name voor betonelementen, betonmortel, betonstaal, voorspanstaal en in de naaste toekomst voor een aantal grondstoffen.

Voor wat betreft het onderzoek aan de constructie wordt bij de VB 1974/1984 alleen ingegaan op het vaststellen van de kubusdruksterkte. In veel praktijksituaties blijkt echter dat de duurzaamheid eerder tot problemen kan leiden dan de constructieve veiligheid. In de VB 1974/1984 wordt in het geheel niet ingegaan op de wijze waarop deze in een constructie kan worden beoordeeld. In een (ontwerp)norm voor onderzoek aan de constructie, in samenhang met de VBT 1986, wordt dit wel aangegeven.

Naar verwachting zal in 1988 de VBU verschijnen. Aan de VBO en de TGB Beton wordt momenteel (1988) nog gewerkt.

Ontwerp van bruggen

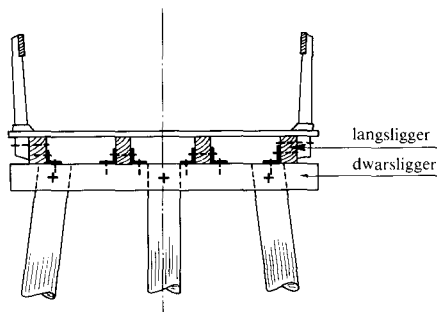
Het ontwerp van een brug is in velerlei typen en uitvoeringen denkbaar. De keuze van het juiste type is afhankelijk van het programma van eisen, de financieel-economische aspecten en de bouwlocatie. Er zijn diverse keuzemogelijkheden bijvoorbeeld ten aanzien van toe te passen materiaal, vast of beweegbaar zijn, ter plaatse gemaakt (monoliet) of geprefabriceerd (prefab). In het plattelandswegennet komen veelal vaste bruggen voor. Om toch een overzicht te geven van enige brugtypen, zijn in het onderstaande summier enkele brugtypen behandeld. Voor het ontwerp van bruggen wordt hier verwezen naar de daarvoor bestaande leerboeken en literatuur.

VASTE BRUGGEN

Vaste bruggen kunnen in diverse materialen worden gebouwd. Hierbij kan men denken aan eenvoudige bruggen in staal, beton of hout, waarbij de rijvloer direct rust op dragende liggers. Een voorbeeld hiervan is de houten brug uit figuur 2.5.20.

Figuur 2.5.20.

Dwarsdoorsnede vaste houten brug.



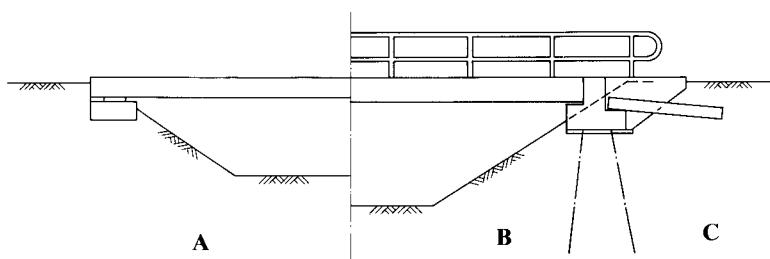
principeschets houten brug

Dit brugtype in hout wordt als regel voor licht verkeer gebouwd, of om landschappelijke redenen toegepast. Het type kan ter plaatse in elkaar worden gemonteerd en speciaal ontworpen zijn, dan wel gedeeltelijk geprefabiceerd worden aangevoerd. De toe te passen houtsoort is afhankelijk van de ontwerp-levensduur van de brug en de toe te passen belastingklasse. Combinaties van stalen liggers met een houten dek zijn zeer wel mogelijk. Is de functie van de brug tijdelijk, bijvoorbeeld als hulpbrug over een bouwput, dan kan aan de toepassing van minder duurzame houtsoorten zoals dennen, grenen of vurenhout worden gedacht. Bij zwaardere eisen kan azobe voor de liggers en het rijdek worden toegepast, terwijl voor de fundering basralocus of groenhart kan worden gebruikt. In het laatste geval zal bij belastingklassen 30 of 45 de brugconstructie veelal bestaan uit (vakwerk)hoofdliggers met een tussengelegen rijvloer of als hangbrug zijn uitgevoerd.

Een ander mogelijkheid met een semi-permanent karakter is de toepassing van een stalen brug met houten rijdek (bijvoorbeeld bailey-bruggen) of pontonbrug.

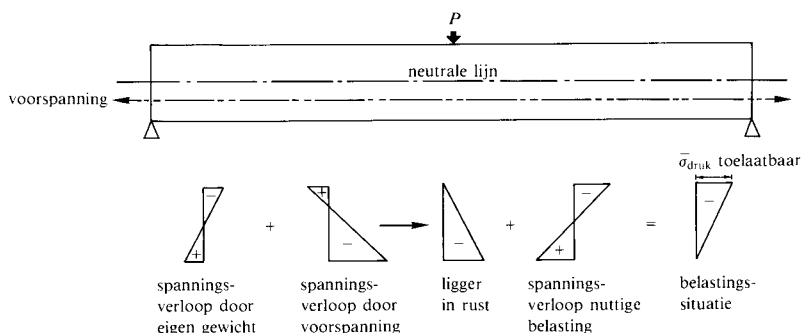
Voor wat betreft de ter plaatse als een geheel gemaakte (monoliet)bruggen zijn de mogelijkheden ten aanzien van vorm en afmeting vrijwel onbeperkt. Als meest eenvoudige toepassingsvorm kan de gewapend betonnen plaatbrug worden genoemd.

Het rijdek wordt opgelegd op al dan niet onderheide landhoofden. Voor een goede gelijkmatige gewichtsoverdracht wordt tussen het rijdek en de oplegging een strook haar- of staalvilt aangebracht; het aanbrengen van leuningen is vaak niet nodig (figuur 2.5.21.A). De landhoofden kunnen van vleugels worden voorzien om de aansluitende grondlichamen te keren. Indien zettingen worden verwacht in het aansluitende weglichaam kan de zogenaamde stootplaatconstructie worden ingebouwd (zie figuur 2.5.21.C), al dan niet geprefabriceerd en/of voorgespannen.



Figuur 2.5.21. Langsdoorsnede brug.

Voor het storten van de gewapend betonconstructie moet een bekisting worden gemaakt en gesteld. De uitvoering hiervan vergt tijd en geld. Hierbij komt dat na het storten een minimum verhardingstijd noodzakelijk is, waardoor de uitvoeringsperiode wordt beïnvloed. Dit kan als een bezwaar tegen de monolietbouw worden aangevoerd. Om aan deze bezwaren tegemoet te komen is door de betonindustrie een assortiment van geprefabriceerde brugonderdelen ontwikkeld en op de markt gebracht. Deze onderdelen worden onder de meest gunstige bedrijfsomstandigheden en volgens moderne technieken vervaardigd en zijn daardoor van doorgaans hoge kwaliteit. Voor geprefabriceerde bruggen zijn er diverse bouwsystemen. Meestal betreft het een mengeling van gewapend, voorgespannen en nagespannen beton. Hierbij komen de voorgespannen elementen het meest voor. Het principe van voorspannen berust erop dat door middel van voorspanning in het wapeningsstaal in de gehele betonddoorsnede drukspanningen ontstaan. Omdat beton wel grote drukkrachten, maar weinig trekkrachten kan opnemen kan bespaard worden op staal en beton middels dit systeem. In figuur 2.5.22 is het voorspan-principe schematisch weergegeven.



Figuur 2.5.22. Schematische weergave voorspan-principe.

Het aangrijpingspunt van de voorspanning in de liggerdoorsnede is hierbij van groot belang.

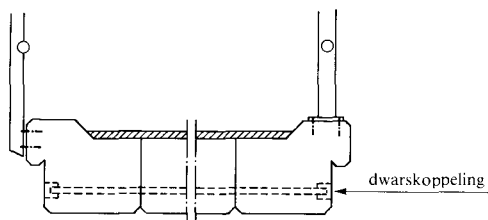
Voorspanning kan op twee manieren worden aangebracht.

- a. Het staal wordt voor het storten onder trekspanning gebracht. Tijdens het verharden van het beton wordt de spanning via de aanhechting op het beton overgebracht. Deze methode wordt veel toegepast bij geprefabriceerde liggers.
- b. De ligger wordt gestort. Na verharding van het beton wordt het spanstaal via gespaarde kokers ingevoerd en daarna onder spanning gebracht. De sparing wordt via de verankering op het beton overgebracht en de kanalen met cementspecie geïnjecteerd.

Een voorbeeld van geprefabriceerde betonbruggen zijn die volgens het contactstelsel (zie figuur 2.5.23).

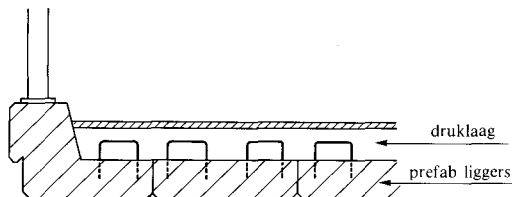
Hierbij worden contactliggers van 0,50 m breedte op de fabriek gestort in dezelfde volgorde waarin zij in het werk komen te liggen. Na het leggen en stellen op het werk worden de elementen in dwarsrichting voorgespannen zodat een plaatwerking ontstaat. De constructiehoogte van de liggers varieert van 0,30 tot 0,45 m. Met dit type ligger kunnen overspanningen van 8 m bij klasse 60 VOSB, tot 12 m bij klasse 18 worden overbruggd.

*Figuur 2.5.23.
Voorbeeld van een geprefabriceerd
contactliggersysteem.*



Een brugconstructie met toepassing van zogenaamde plaatliggers is weergegeven in figuur 2.5.24. De constructie wordt samen met de in het werk te storten druklaag gevormd. De dikte van de druklaag en afmetingen van de wapening zijn afhankelijk van de grootte van de overspanning en de belastingklasse volgens de VOSB. Door toepassing van randliggers kan de brug vrijwel zonder bekistingswerken worden uitgevoerd.

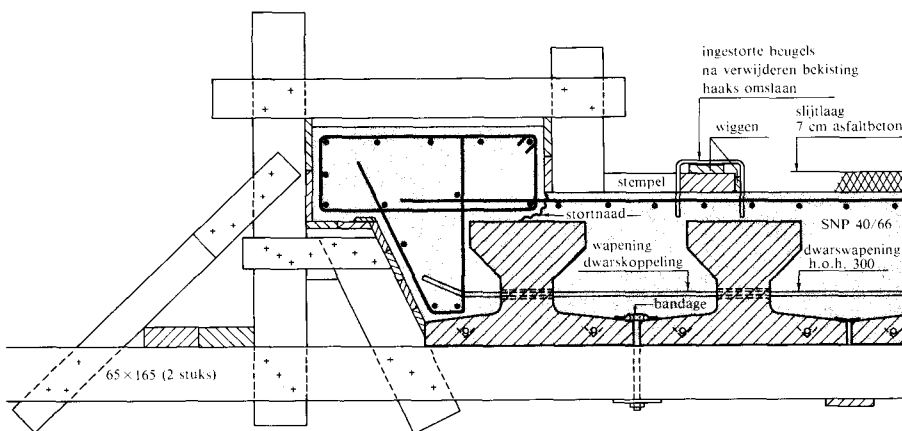
*Figuur 2.5.24.
Voorbeeld van een geprefabriceerd
plaatliggersysteem met opgestorte
druklaag.*



Met dit brugtype kunnen afhankelijk van de belastingklasse volgens de VOSB maximale overspanningen worden gemaakt van 7 tot 8 m bij een totale constructiehoogte van ca. 0,30 - 0,40 m.

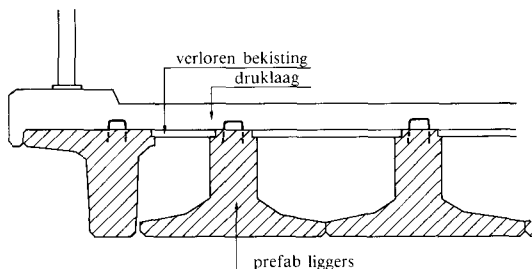
Moeten nog grotere overspanningen worden overbrugd dan kan een keuze gemaakt worden uit diverse voorgespannen betonliggers.

Met toepassing van deze liggers kunnen overspanningen van meer dan 30 m worden gebouwd. In figuur 2.5.25 en figuur 2.5.26 zijn voorbeelden gegeven van twee typen liggers. Met de aanwending van prefab randliggers kan omvangrijk en duur bekistingswerk worden voorkomen.



Figuur 2.5.25. Voorbeeld van een geprefabriceerd betonliggersysteem met ter plaatse gestorte constructie (druk)laag.

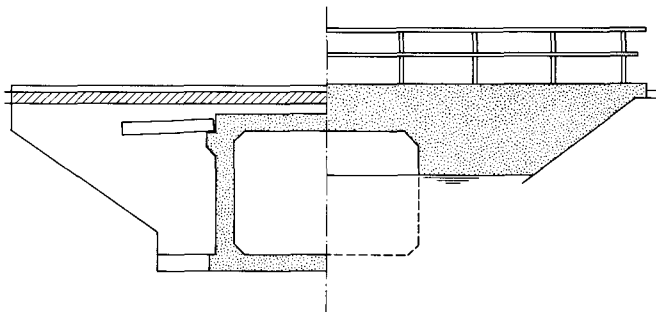
Figuur 2.5.26. Voorbeeld van een geprefabriceerd betonliggersysteem met gedeeltelijke prefab randbalk en ter plaatse gestorte constructie (druk)laag.



Een geheel andere oplossing van een vaste brug is de duiker- of kokerbrug (zie figuur 2.5.27). Aan een monoliete duiker of een duiker samengesteld uit prefabelementen worden retourvleugels gebouwd om het aansluitende weglichaam te keren. De keerwanden

kunnen van beton, staal of hout zijn. In de praktijk blijkt deze oplossing relatief duur te zijn. Een combinatie van prefabliggers en keerwand (teneinde de overspanning te verkleinen) behoort uiteraard ook tot de mogelijkheden.

*Figuur 2.5.27.
Dwarsdoorsnede/aanzicht
monolietconstructie.*



principeschets kokerbrug

BEWEEGBARE BRUGGEN

Indien door de beheerder van het vaarwater, in verband met de scheepvaart, een grote doorvaarthoogte wordt vereist, staan er voor de ontwerper in principe twee mogelijkheden open.

a. Er wordt gekozen voor een vaste brug waarbij de onderkant van de bovenbouw op de vereiste hoogte wordt geprojecteerd en de aansluitende wegvakken in ophoging op de brugconstructie wordt aangesloten. In gebieden met een slechte draagkracht van de ondergrond kunnen hierbij grondmechanische problemen optreden.

b. Is dit op grond van grondmechanische, economische en/of landschappelijke overwegingen niet mogelijk, dan zal moeten worden gekozen voor een beweegbare brugconstructie. Bij deze overwegingen moet zeker rekening worden gehouden met het kostenaspect ten aanzien van de bediening van de brug. Mogelijkheden van beweegbare bruggen zijn onder andere:

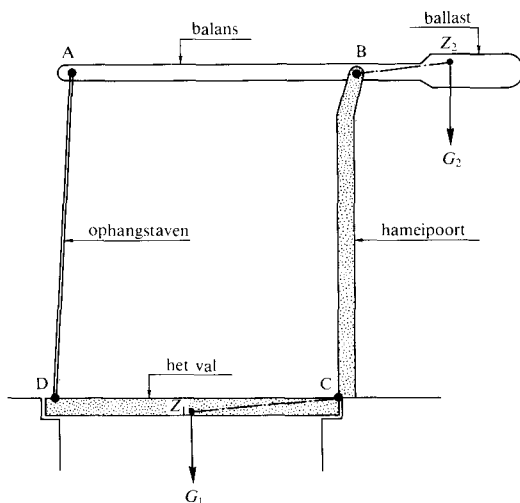
- ophaalbrug;
- draaibrug (gelijk- of ongelijkarmig);
- basculebrug;
- rolbasculebrug;
- hefbrug.

Behoudens de ophaalbrug en de draaibrug worden deze bruggen zelden toegepast in platelandswegen. Volstaan wordt dan ook hier slechts de principes van ophaalbrug en draaibrug te vermelden.

- Ophaalbrug

De oudste en meest bekende beweegbare brug is ongetwijfeld de ophaalbrug. Dit type brug kan in hout of staal worden uitgevoerd. Door het contragewicht in de balans, de zogenaamde ballast, kan de brug, in de meest eenvoudige uitvoering, met handkracht worden geopend en gesloten.

Figuur 2.5.28.
Principeschets ophaalbrug.



Bij grotere en zwaardere uitvoeringen zal als regel de energie om de brug te openen worden geleverd door een lichte electromotor.

Het ontwerp van deze balansbrug moet aan een drietal hoofdvoorwaarden voldoen, namelijk:

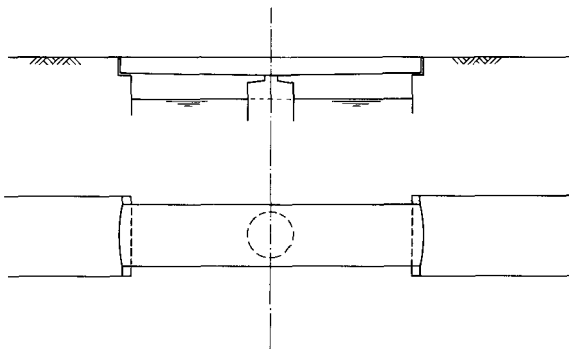
- de scharnierpunten A, B, C en D moeten met elkaar een parallellogram vormen;
- als G_1 het gewicht is van het val en G_2 het gewicht van de ophangstaven + het balans + de ballast, dan moet G_1 aangrijpend in het zwaartepunt Z_1 , maal de horizontale afstand tot punt C gelijk zijn aan G_2 , aangrijpend in het zwaartepunt Z_2 maal de horizontale afstand tot punt B;
- de lijn $Z_1 - C$ moet evenwijdig zijn aan de lijn $Z_2 - B$.

- Draaibruggen

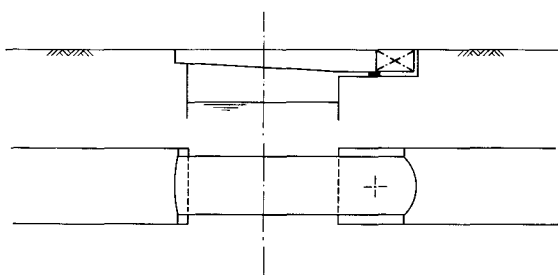
De draaibrug bestaat in twee uitvoeringen. De gelijkarmige- en ongelijkarmige brug (figuur 2.5.29 resp. fig. 2.5.30). De keuze tussen deze twee is afhankelijk van de breedte van het te kruisen vaarwater. Bij een geringe breedte van het vaarwater zal toepassing van de ongelijkarmige draaibrug de voorkeur verdienen boven de gelijkarmige brug. Dit in verband met de gewenste doorvaartbreedte. Door het aanbrengen van een contragewicht zal ten opzichte van het draaipunt evenwicht worden verkregen met het gewicht van het brugdek, waardoor de brug zonder grote inspanningen kan worden geopend en gesloten.

Tegenwoordig worden draaibruggen nog zelden toegepast. Als beweegbare brugconstructie in wegen met een zeer geringe ontsluitingsfunctie kan toepassing van dit type nog worden overwogen.

*Figuur 2.5.29.
Principeschets draaibrug
(gelijkarmig).*



*Figuur 2.5.30.
Principeschets draaibrug
(ongelijkarmig).*



Fundering van bruggen

Algemeen

Aan de hand van de resultaten van één of meer sonderingen kan de fundering worden vastgesteld. Dit kan zijn een fundering op staal, op putten, damwand of palen. De keuze van de aard en de diepte van de fundering hangt nauw samen met de aard van de grondslag, gevonden sondeerwaarden en de vereiste belastingklasse van de brug. Indien door de belasting van het kunstwerk de toelaatbare draagkracht van de ondergrond niet wordt overschreden, kan op staal worden gefundeerd (zie hiervoor bijvoorbeeld het landhoofd in figuur 2.5.17 of figuur 2.5.21.A). De belasting van bruggen is echter veelal van dien aard dat de toelaatbare grondspanning wel wordt overschreden en de brug gefundeerd moet worden. In het plattelandswegennet worden bruggen veelal op palen gefundeerd. Om deze reden blijven de putten- en damwandfundering hier onbesproken.

Fundering op palen

Bij een palenfundering bestaat er de keuzemogelijkheid tussen toepassing van houten of betonnen palen. Een en ander is afhankelijk van het ontwerp en de toelaatbare paalbe-

lasting. Globaal kan worden gesteld dat in verband met maximaal toelaatbare materiaal-drukspanningen houten palen maximaal tot $250 - 300 \text{ N} \cdot \text{cm}^{-2}$ mogen worden belast en gewapend betonpalen tot $400 - 450 \text{ N} \cdot \text{cm}^{-2}$.

Bij het gebruik van houten palen moet ervoor worden gezorgd dat de kop van de paal $0,20 - 0,30 \text{ m}$ beneden de (grond)waterspiegel komt. Voor het te vormen paalgedeelte boven de waterspiegel worden de bekende betonnen "opzetters of oplangers" mee-geheid.

Om de draagkracht van de palen te bepalen bestaan er in principe twee methoden welke beide zijn weergegeven in figuur 2.5.31. De eerste methode is het zogenaamde "op stuit" heien. Middels een van de vele heiformules wordt de zetting van de paal bij de laatste slag of de laatste 30 slagen berekend. Tijdens het heien wordt de zetting regelmatig gemeten: het zogenaamde "kalenderen". Is de berekende zetting bereikt dan staat de paal op stuit. Een van de meest bekende heiformules is de Hollandsche formule van Eytelwijn.

$$P = \frac{M^2 H}{v(M+m)h} \quad (2.5.5)$$

waarin:

P	= toelaatbare paalbelasting	$(\text{N} \cdot \text{m}^{-2})$
M	= (slag)gewicht heiblok	(N)
m	= paalgewicht	(N)
H	= valhoogte blok	(m)
h	= zakking laatste slag	(cm)
v	= veiligheidscoëfficiënt (meestal $2 - 2,5$).	$(-)$

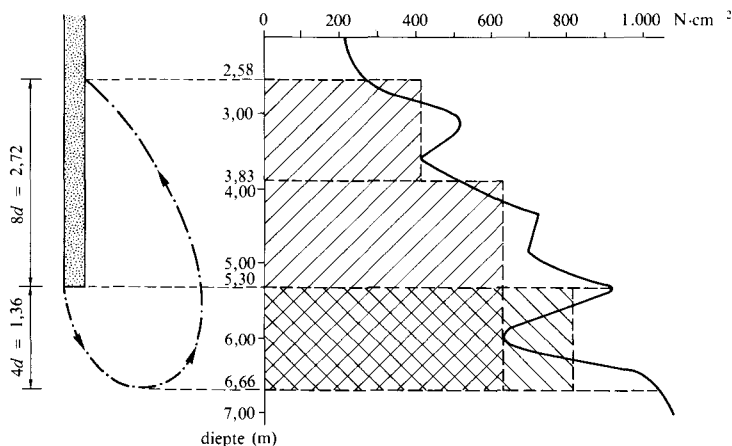
Deze formule kan ook worden gebruikt bij toepassing van slagverstuivingsheiblokken. Uiteraard moeten dan wel in de formule de slaggewichtgegevens worden verwerkt welke voor de verschillende heiblokken in tabelvorm zijn verschenen.

Als nadeel van het op stuit heien kan worden aangemerkt dat eerst een schatting voor de benodigde paallengte moet worden gemaakt. Om de lengte te bepalen wordt soms een proefpaal geheid.

Een betere methode voor het bepalen van de draagkracht is met behulp van de grafiek van (een) ter plaatse gemaakte sondering(en). Immers hierin wordt veel informatie betreffende het draagvermogen van de grond op verschillende diepten verstrekt. Aan de hand van deze grafiek, waarvan in figuur 2.5.31 een voorbeeld is gegeven, kan de benodigde paallengte worden bepaald.

Door het wegdrukken van de grond door de paalpunt ontstaat onder de paalpunt een glijvlak welke zich tot boven de paalpunt uitstrekt. Uit onderzoek is gebleken dat het glijvlak zich verder uitstrekt boven de punt dan onder de punt. Over de verhouding tussen de afstand boven en onder de paalpunt bestaan verschillende theorieën. Een veel toegepaste benadering is dat het glijvlak zich uitstrekt van $4 \times d$ onder de paalpunt tot $8 \times d$ erboven. Hierin is d een zogenaamde equivalente paaldiameter: de diameter van een cirkel waarvan het oppervlak gelijk is aan de oppervlakte van de paaldoorsnede.

Figuur 2.5.31.
Voorbeeld van een
sondeergrafiek.



Onderstaand zal een voorbeeld van de berekening van de maximale paalbelasting worden uitgewerkt.

Voorbeeld.

Stel:

Afmeting paal op 30 × 30 cm en de paalpuntdiepte op 5,30 min N.A.P.

De equivalente diameter is

$$\sqrt{\frac{30 \times 30 \times 4}{\pi}} = 34 \text{ cm}$$

Het glijvak strekt zich dus uit van $4 \times 0,34 = 1,36$ m onder de punt tot $8 \times 0,34 = 2,72$ m boven de punt (zie figuur 2.5.31).

Voor het neergaande deel van het glijvak wordt de werkelijke oppervlakte van de sondeergrafiek bepaald en voor het opgaande deel is de oppervlakte van de minimale waarde van belang. In figuur 2.5.31 is het opgaande deel naar links gearceerd en het neergaande deel naar rechts.

neergaande deel	$1,36 \times 810 =$	1.101,60
opgaande deel	$1,36 \times 630 =$	856,80
	$1,47 \times 630 =$	926,10
	$1,25 \times 410 =$	512,50
		3.397,00

De toelaatbare paalpuntspanning is nu:

$$\sigma = \frac{\text{opp.grafiek}}{n(2 \times 4 + 1 \times 8)d} = \frac{3.397}{2 \times 16 \times 0,34} = 312 \text{ N} \cdot \text{cm}^{-2}$$

waarin n een veiligheidsfactor is van 2 voor gladde palen en 2,5 voor palen met een verzwaarde punt.

De toelaatbare belasting is dan $\sigma \cdot F = 312 \text{ N} \cdot \text{cm}^{-2} \times 900 = 281 \text{ kN}$. Door deze toelaatbare belasting te delen op de benodigde draagkracht verkrijgt men het aantal benodigde palen. Uiteraard kan men omgekeerd bepalen op welke diepte bijvoorbeeld een zeker aantal palen van 40 × 40 cm moet worden gefundeerd om de benodigde draagkracht te bereiken.

2.6. Bijzondere onderwerpen

2.6.1. Fietspaden

Inleiding

Het fietsen mag zich in een grote belangstelling verheugen in Nederland. Uit een door het Instituut voor Toegepaste Sociologie (ITS) uitgevoerd onderzoek blijkt dat in 1980 81% van alle Nederlanders meer of minder regelmatig fietst en dat 41% zegt vaker te willen fietsen. Medio 1976 bezat 78% van alle Nederlanders een fiets volgens dit onderzoek. Uit tabel 2.6.1 blijkt de in de afgelopen jaren toegenomen belangstelling voor de fiets.

Tabel 2.6.1. Verkeersprestaties van de (brom)fiets in Nederland in miljarden reizigerskilometers (Bron: CBS).

Jaar	Reizigerskilometers (in 10 ⁹ km)	
	fiets	bromfiets
1976	7,9	3,0
1978	8,2	2,7
1980	9,2	1,9
1984	10,9	1,4

Naast de belangstelling van de individuele Nederlander heeft het fietsen ook de belangstelling van de overheid. Deze belangstelling komt voort uit de overweging dat fietsen geen van de nadelen kent, welke bij het autoverkeer optreden: het is milieuvriendelijk, legt een gering beslag op de beschikbare ruimte, is gezond en kost geen energie. Hierdoor wordt zowel uit een oogpunt van verkeers- en milieubeleid als vanuit recreatie en gezondheidszorg belang gehecht aan goede fietsvoorzieningen.

Om inzicht te geven waarvoor de fiets gebruikt wordt, is in tabel 2.6.2 per verplaatsingsmotief een procentuele verdeling van de vervoerswijzen gegeven.

Tabel 2.6.2. Procentuele verdeling van de vervoerswijze bij verschillende verplaatsingsmotieven (Bron: CBS-1982).

verplaatsingsmotief	Vervoerswijze				
	auto %	openb. vervoer %	(brom)fiets %	lopen %	overig %
werken	57	5	26	8	4
winkelen	38	5	31	26	0
onderwijs	10	10	65	10	5
visite	58	5	21	16	0
recreatie	40	2	26	29	3

Uit tabel 2.6.2 blijkt dat naast de andere motieven met name voor het onderwijs de rol van de (brom)fiets groot is. Het bevorderen van veilige fietsvoorzieningen wordt dan ook door de overheid voorgestaan. Overigens kent het stimuleren van het fietsverkeer buiten de bebouwde kom ook zijn grens, omdat met name in landelijke gebieden fiets en auto maar tot op zekere hoogte uitwisselbaar zijn vanwege de soms grote afstanden.

Zowel in het Structuurschema voor de Landinrichting als in die voor Verkeer en Vervoer zijn ten aanzien van het fietsverkeer een tweetal doelstellingen opgenomen, en wel:

- het bevorderen van de verkeersveiligheid voor fietsers;
- het bevorderen van recreatieve fietsmogelijkheden.

Ten aanzien van het bevorderen van de verkeersveiligheid richten de maatregelen zich op verbetering van de infrastructuur en verbetering van de rijvaardigheid en het rijgedrag (met name van jonge verkeersdeelnemers). Dat het veiligheidsaspect zeer belangrijk is mag blijken uit tabel 2.6.3.

Tabel 2.6.3. Ontwikkeling van het aantal doden en gewonden in het verkeer naar wijze van deelneming in het verkeer (Nederland) (Bron: CBS).

Categorie verkeers-deelnemers	1970		1980	
	doden	gewonden	doden	gewonden
voetgangers	609	7.410	295	5.400
fietsers	512	8.205	426	12.742
bromfietsers	540	24.686	191	14.051
motorvoertuigen	1.405	25.896	1.074	23.989
overig	115	2.028	11	441
totaal	3.181	68.225	1.997	56.623

Door onder andere het toenemende autobezit steeg het aantal doden en gewonden tot aan het begin van de zeventiger jaren. Hoewel daarna het autobezit bleef stijgen, zijn de absolute cijfers gedaald door inspanningen op het gebied van de verkeersveiligheid. De daling van het dodental bij het bromfietsverkeer kan worden toegeschreven aan de daling van het gebruik (zie ook tabel 2.6.1) alsmede aan de verplichting tot het dragen van de valhelm. Uit een analyse van de ongevallen blijkt dat nagenoeg alle doden en gewonden bij (brom)-fietsers zijn te betreuren bij ongevallen waarbij ook snelverkeer is betrokken. Het door langzaam- en snelverkeer gebruiken van dezelfde infrastructuur leidt tot het relatief en absoluut hoge aantal doden en gewonden onder het langzaam verkeer.

Verbetering c.q. uitbreiding/scheiding van de infrastructuur leidt tot verhoging van de verkeersveiligheid.

Recreatief fietsen is een door velen gewaardeerde vorm van vrijetijdsbesteding. Het kan zowel plaatsvinden terwille van het fietsen (een tochtje maken) als met de bedoeling een recreatieve bestemming te bereiken.

Onderscheid kan worden gemaakt naar voorzieningen in stedelijke centra, stedelijke randzones en het landelijk gebied. De voorzieningen in stedelijke centra dienen een hoge prioriteit te hebben vanwege de bevolkingsconcentraties en de daardoor bestaande grote vraag naar recreatieve mogelijkheden. De stedelijke randgebieden hebben doorgaans een andere functie (veelal landbouw) en bieden de mogelijkheid tot recreatief medegebruik. Teneinde deze mogelijkheden te vergroten dienen ze goed ontsloten te worden, zodat op korte afstand van de stedelijke woongebieden aantrekkelijke mogelijkheden worden gecreëerd voor het maken van recreatieve rondritten per fiets. In het landelijk gebied zelf is het belangrijk dat de verbindingen tussen woonkernen en buitengebied zo veilig, plezierig en afwisselend mogelijk zijn, eventueel vrijliggend van het autoverkeer en zoveel mogelijk ontdaan van het stedelijk karakter. Indien de (brom)fiets gebruikt wordt voor het bereiken van een bepaald attractiepunt of recreatiegebied, gelden voor wat de infrastructuur betreft dezelfde voorwaarden en uitgangspunten ten aanzien van tracé, landschapsbeleving en dergelijke als voor het recreatief rondfietsen.

Indeling van fietspaden

Er staan de ontwerper verschillende mogelijkheden ter beschikking bij het ontwerpen van de infrastructuur voor het (brom)fietsverkeer. Naast het afwezig zijn van aparte voorzieningen of het gebruik maken van parallelwegen waarop het (brom)fietsverkeer te zamen met ander langzaam- en soms snelverkeer rijdt, kan men qua uiterlijke vormgeving de volgende paden onderscheiden.

- Fietsstroken (a)
Stroken verharding die op een gelijk niveau liggen als de weg voor het overige verkeer en slechts door een verfstreep of gekleurde oppervlakbehandeling er van zijn gescheiden.
- Aanliggende fietspaden (b)
Paden die op een hoger niveau liggen dan de weg voor het overige verkeer, een tussenberm ontbreekt echter.
- Vrijliggende fietspaden (c)
Paden die door een tussenberm zijn gescheiden van de weg voor het overige verkeer.
- Fietspaden die een geheel eigen tracé hebben (d)

In het onderstaande zijn voor de bovengenoemde mogelijkheden enkele bemerkingen weergegeven.

Voor zowel de fietsstroken (a) als voor de aanliggende fietspaden (b) geldt dat de brede verharding van de hoofdrijbaan en de beide fietsstroken of aanliggende paden een snelheidsverhogend effect op het gemotoriseerde verkeer hebben, waardoor de verkeersveiligheid nadelig wordt beïnvloed. Bovendien kunnen bij een ongeval op de hoofdrijbaan

van de weg gerakende voertuigen eenvoudig (brom-)fietsers treffen en kunnen motorvoertuigen die op de hoofdrijbaan zijn geparkeerd het fietsverkeer hinderen bij het openen van portieren. Voor fietsstroken (a) geldt bovendien dat:

- er een scheiding van verkeerssoorten wordt gesuggereerd welke echter niet aanwezig is;
- geparkeerde motorvoertuigen het fietsverkeer ernstig kunnen hinderen indien op de fietsstrook wordt geparkeerd;
- rijdende motorvoertuigen in de verleiding kunnen komen om de fietsstrook te benutten bij inhalen en dergelijke.

Bij het aanliggende fietspad (b) geldt bovendien dat door het niveauverschil tussen de verhardingen en het ontbreken van een tussenberm door bermvrees de effectieve breedte van het fietspad geringer zal zijn dan de aanwezige breedte.

Vanwege de bovengenoemde redenen welke resulteren in het suggereren van eigen voorziening welke er in feite niet is, in combinatie met de grote snelheidsverschillen tussen het (brom)fietsverkeer en het snelheidsverkeer, is de aanleg van deze type voorzieningen buiten de bebouwde kom af te raden.

Bij vrijliggende fietspaden (c) gelden de voornoemde bezwaren niet of in mindere mate. De breedte van de tussenberm is van minder belang bij tweezijdige fietspaden en van meer belang bij eenzijdige fietspaden en wordt bij voorkeur op 3,00 meter gesteld met een minimum van een 0,50 meter.

Fietspaden met een geheel eigen tracé (d) zijn zowel uit het oogpunt van verkeersveiligheid als vanuit het recreatief gebruik uitermate geschikt. Een nadeel van dit type pad is echter dat het bij duisternis als minder aantrekkelijk wordt ervaren, waardoor de gebruikswaarde daalt.

Naast de keuze genoemd onder (a) tot en met (d) kan men fietspaden één- of tweezijdig aanleggen. Eenzijdig aangelegde fietspaden worden doorgaans in twee richtingen bereden en tweezijdige paden in één richting. In het algemeen verdienen tweezijdige in één richting bereden fietspaden uit veiligheidsoverwegingen de voorkeur en wel om de volgende redenen:

- fietsers uit tegenovergestelde richting hebben geen hinder van elkaar;
- op kruisingen en bij uitwegen blijkt de van rechtskomende fietser op in twee richtingen bereden paden extra kwetsbaar;
- bij eenzijdige paden bestaat bij duisternis kans op verwarring door de tegemoetkomende "verkeerde" (brom)fietser.

De aanleg van eenzijdige paden kan echter soms de enige mogelijkheid zijn om de situatie te verbeteren om reden van bijvoorbeeld planologie, grondverwerving, fysieke barrières, financiën etc.

Een nadeel bij dit soort paden blijft het conflict op kruispunten en uitwegen van het fietsverkeer met het gemotoriseerde verkeer. Aan deze mogelijke conflicten dient grote aandacht te worden besteed.

Voor criteria welke bij de aanleg van vrijliggende paden gehanteerd worden, kan verwezen worden naar het gestelde hierover in hoofdstuk V. 2.2.3.

De breedte van fietspaden

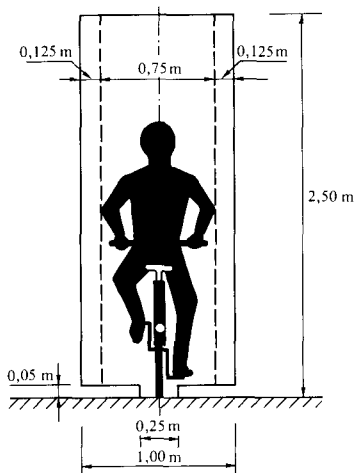
De dimensionering van het dwarsprofiel van een fietspad is opgebouwd uit drie componenten, te weten:

- a. de breedte van de verharding;
- b. de breedte van de bermen;
- c. de obstakelvrije afstanden.

Deze componenten worden beïnvloed door het vereiste profiel van vrije ruimte van een (brom)fietser, de veiligheid en afwikkeling van het (brom)fietsverkeer en constructieve en onderhoudsaspecten.

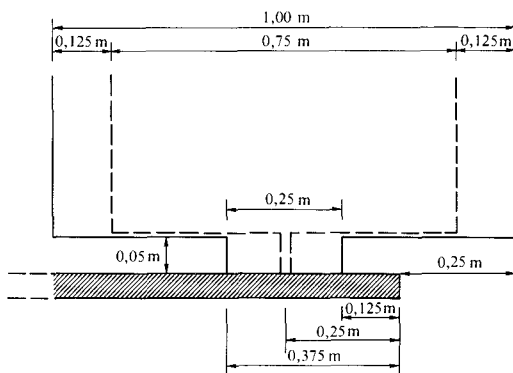
In de concept-richtlijnen van de RONA-werkgroep fietsverkeer is volgens figuur 2.6.1 het ontwerpprofiel bepaald voor een (brom)fietser (*Commissie Richtlijnen Ontwerp Niet-Autosnelwegen*, 1984).

Figuur 2.6.1.
Ontwerpprofiel van
een (brom)fietser.



Naast het ontwerpprofiel is de aanwezigheid van de kant van de verharding en eventuele obstakels naast het fietspad of de aanwezigheid van passerende of naast elkaar rijdende fietsers van belang. Rekening houdend met de vetergang van een fietser en het feit dat hij niet direct langs de kant van de verharding fietst is naast het ontwerpprofiel de dwarspositie van belang (zie figuur 2.6.2).

Figuur 2.6.2.
Uiterste positie van een (brom)fietsster ten opzichte van de kant van de verharding.



Omdat uit onderzoek is gebleken dat de breedte van het fietspad slechts een geringe invloed heeft op de verkeersveiligheid dienen andere aspecten de breedte te bepalen. Hierbij valt te denken aan het aantal gebruikers, de functie van het pad, het type gebruikers (fietsers en bromfietsers), het toepassen van één- of tweezijdige fietspaden en de mogelijkheden tot inpassing in het landschap. Ook het na de aanleg noodzakelijke onderhoud speelt hierin mee.

Het is zinvol voor het bepalen van de noodzakelijke breedte van paden onderscheid te maken tussen intensief en extensief gebruik van het pad. Van intensief gebruik is sprake wanneer de intensiteit hoger is dan 750 fietsers per etmaal. Van extensief gebruik wanneer de intensiteit lager is dan 300 fietsers per etmaal. Voor een intensief gebruikt, in één richting bereden fietspad heeft een breedte van 2,00 m de voorkeur. Voor een intensief in twee richtingen bereden fietspad geniet een breedte van 3,00 m de voorkeur.

Voor extensief gebruikte paden liggen de breedtes respectievelijk op maximaal 1,75 en 2,00 m, waarbij uit onderhoudsoogpunt een breedte van 2,00 m kan worden aanbevolen. Indien de intensiteiten liggen tussen 300 en 750 fietsers per etmaal kan de bepaling van de breedte geschieden door de hierboven aangegeven waarden naar verhouding te hanteren.

De breedte van een fietspad varieert ook met de functie die een pad heeft. Met name waar het gaat om paden die primair een recreatieve functie hebben en die een landschappelijk waardevol gebied doorkruisen kan met opzet de breedte aan de lage kant worden gehouden om aldus natuur en landschap zoveel mogelijk in hun waarde te laten. Als minimale breedte voor fietspaden met een overwegend recreatieve functie wordt 1,00 m aangehouden. In bijzondere gevallen kan daarvan worden afgeweken en is een breedte van 0,75 m acceptabel.

De in het bovenstaande aangegeven breedte maten gelden voor paden, waarvan ook bromfietsen gebruik maken. Er kunnen redenen zijn om bromfietsen niet op fietspaden toe te laten. Dat zal met name het geval zijn bij vrijliggende paden die door of nabij natuurgebieden of rustgebieden lopen. In gevallen waarbij bromfietsen geweerd worden, kunnen de aangegeven breedtematen, met uitzondering van de minimale breedte van 0,75 m, enigszins worden onderschreden.

In tabel 2.6.4 is een overzicht gegeven van de breedte van fietspaden zoals hiervoor is beschreven.

Tabel 2.6.4. Overzicht breedte van fietspaden in m.

	Niet recreatieve fietspaden				recreatieve fietspaden			
	intensief bereiden		extensief bereiden		intensief bereiden		extensief bereiden	
	e.z.	d.z.	e.z.	d.z.	e.z.	d.z.	e.z.	d.z.
voorkeur	3,00	2,00	2,00	1,75	2,5	1,50	1,50	1,25
minimaal	2,50	1,75	1,50	1,25	2,00	1,25	1,00	0,75

e.z. = enkelzijdig

d.z. = dubbelzijdig.

Het rijcomfort en de verharding op fietspaden

Ten behoeve van de fietser moet het fietsen aangenaam blijven. Een goed vlak wegdek (ook ten behoeve van de afwatering), een afwisselende route, goede beschutting tegen weer en wind, weinig of geen conflictsituaties met het overige verkeer, het beperken van omwegen etc., dragen daartoe bij.

Voor fietspaden welke voornamelijk voor woon- en school-werkverkeer worden gebruikt zal veelal een gesloten verharding, zoals een asfalt- of betonverharding, de voorkeur verdienen. Dit niet alleen vanwege het comfort maar ook vanwege de verkeersveiligheid. Recreative fietspaden kunnen in sommige gevallen een semi-verharding hebben.

Naast de intensiteit van het gebruik spelen ook andere facetten een rol in het ontwerp ten aanzien van sterkte en materiaalkeus.

De smalle, dikwijls lange baan waarlangs het wegenbouwmateriaal moet worden aangevoerd werkt verstoring van de verdichting en de vlakheid van een zandbed in de hand. Ook een toepassing van een dunne bitumineuze constructielaag op een zandbed kan aanleiding geven tot schade door mollengangen of doorgroei van sommige plantesoorten. Voorts zijn bij de keuze verschillende partijen belanghebbend.

Zoals hierboven reeds vermeld, verdient het aanbeveling om bij fietspaden welke voornamelijk worden gebruikt voor woon-school-werkverkeer een gesloten verharding toe te passen, zoals asfalt of beton. Hierbij is het uiterlijk te variëren door de keuze van bijvoorbeeld het asfaltmateriaal of door toepassing van een oppervlakbehandeling (parelgrind). Ook het kleuren van asfalt en beton is in zekere mate uit te voeren, maar het eindresultaat geeft dikwijls aanleiding tot teleurstellingen zowel ten aanzien van kleur als ten aanzien van houdbaarheid.

Voor de recreatieve paden in landschappelijk gevoelige gebieden kan worden gedacht aan een semi-verharding. De onderhoudskosten zijn hierbij dikwijls hoog en de gebruikswaarde kan nogal variëren. Men moet er in dergelijk gevoelige gebieden op bedacht zijn dat het te gebruiken materiaal chemisch neutraal reageert. Zo kan bijvoorbeeld een schelpenpad in een relatief "zure" omgeving het effect hebben van een kalkgift.

Op het punt van de rijkwaliteit geven de semi-verhardingen aanleiding tot minder comfort (mul, zuigen bij nat weer). Bij toepassing van betontegels moet men doorlopende langsvogen vermijden. Het toepassen van klinkers geeft een matige rijkwaliteit. Slechts toepassing van keperverband en zeer goed straatwerk op een goede fundering geeft een acceptabel oppervlak.

Ongeacht de soort verharding wordt zowel in rechtstanden als in bogen een dwarshelling toegepast van 2,5 à 3% in verband met de afvoer van hemelwater. Onverlichte fietspaden die in twee richtingen worden bereden, worden voorzien van een asstreep, welke bij overwegend recreatief gebruik achterwege kan worden gelaten.

Met betrekking tot toe te passen boogstralen in het tracé blijkt een straal van 100 m in de praktijk goed te voldoen. Deze waarde kan worden verlaagd tot minimaal 60 m (twee richtingenverkeer) of 30 m (éénrichtingsverkeer) indien de beschikbare ruimte daartoe aanleiding geeft. Op punten waar het (brom)fietsverkeer voorrang moet geven aan het gemotoriseerde verkeer kan men de snelheid van bijvoorbeeld bromfietzers bewust beperken door 2 nog kleinere horizontale boogstralen toe te passen welke tegengesteld op elkaar volgen. Een combinatie van een boogstraal van 30 m met daarna een tegengestelde boog van 15 m (of 20 m samen met 10 m) geeft een goede snelheidsreductie waarop uiteraard wel het naderende (brom)fietsverkeer moet worden geattendeerd. Hierbij dient ook bedacht te worden dat het overige verkeer voldoende oprijzicht heeft om ook het fietspad te kunnen overzien (zie het gestelde hierover in par. V. 2.3.3).

Ook van belang voor het rijcomfort zijn de hellingen in het lengteprofiel. Om landschappelijke redenen is het vaak gewenst het fietspad op het maaiveld aan te leggen. Van grote hellingen is in ons land slechts zelden sprake, zodat dan aan deze wens tegemoet kan worden gekomen. Soms, zoals bij bruggen en tunnels, zijn hellingen onvermijdelijk. In tabel 2.6.5 wordt een overzicht gegeven van de aanbevolen en maximaal toe te passen hellingpercentages, afhankelijk van het te overwinnen hoogteverschil.

Tabel 2.6.5. Aanbevolen en maximale hellingpercentages in fietspaden bij diverse hoogteverschillen (gemiddelde waarden).

Hoogteverschil in meters	Aanbevolen hellingspercentage (%)	Maximale hellingspercentage (%)
0,50	7,5	8,0
1,00	7,5	8,0
1,50	7,0	8,0
2,00	4,7	8,0
2,50	4,0	7,5
3,00	3,2	6,5
3,50	2,5	5,3
4,00	1,8	4,2
4,50	1,2	3,2
5,00	1,2	2,0

Hierbij verdient het aanbeveling het hellingspercentage te variëren over de hoogte; aan de voet een grotere helling dan de gemiddelde waarde en bovenaan een kleinere helling. Hierdoor wordt de aanvangssnelheid van de fietsers optimaal benut en wordt de snelheid over de helling nagenoeg constant. Voor de berekening van het verloop van de helling wordt verwezen naar *Provincie Gelderland* (1984). Bij hoogteverschillen boven de 5,00 m verdient het aanbeveling een horizontaal gedeelte van circa 25 meter op te nemen om de fietser de gelegenheid te geven op adem te komen. Bij dalende gedeelten wordt aanbevolen dezelfde percentages te hanteren als bij de stijgende gedeelten ten einde de snelheden van de dalende fietsers te beperken. Hierbij kunnen evenwel horizontale gedeelten achterwege blijven. Onderaan de helling dient voldoende uitloop aanwezig te zijn zonder scherpe bochten of een kruispunt.

Constructies van fietspaden

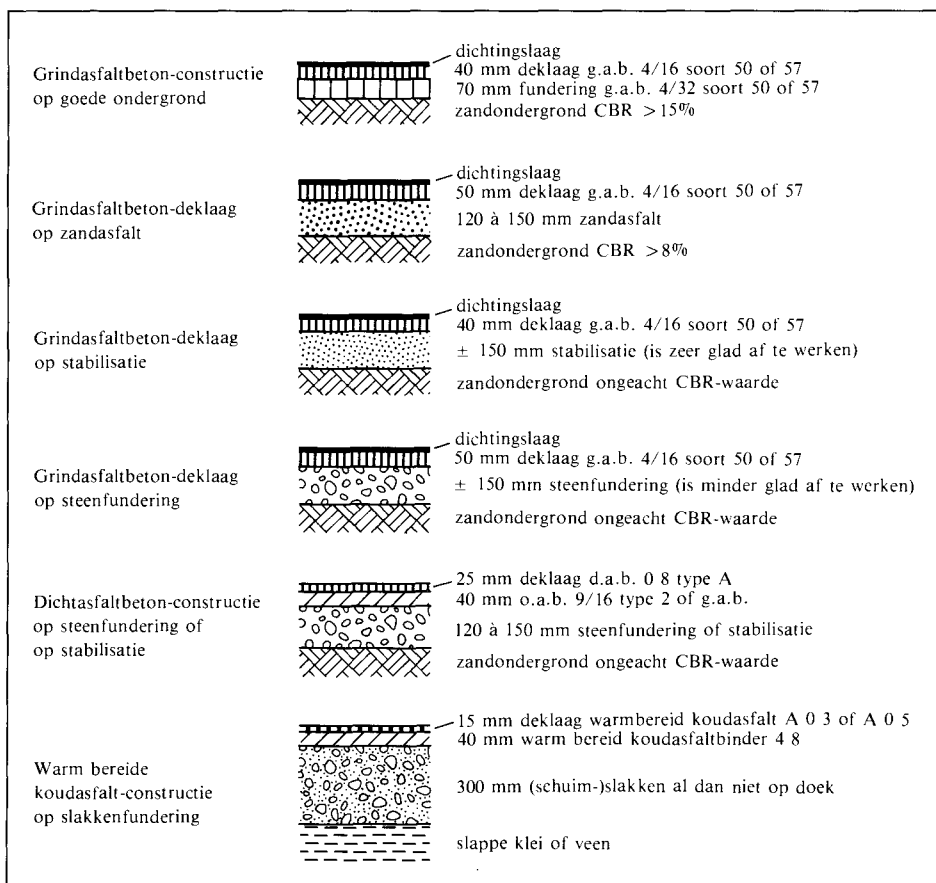
Er zijn vele mogelijkheden voor constructies van fietspaden. Rekening houdend met het gewenste rijcomfort van de fietser en de belangen van opdrachtgever en onderhoudsplichtige, kunnen de in het navolgende beschreven constructies toegepast worden. Hierbij moet worden opgemerkt dat deze constructies slechts een oriëntatie geven van de mogelijkheden en een orde van grootte ten aanzien van de afmetingen en gewichten. Steeds dient ontworpen te worden naar eigen inzicht en plaatselijke omstandigheden waarbij toe te passen werkmethoden en materialen een belangrijke rol spelen.

Onderscheid kan worden gemaakt naar draagkracht van de ondergrond. Zoals hiervoor reeds opgemerkt verdienen de toepassing van asfalt of beton bij druk bereden fietspaden de voorkeur. Voor enkele toe te passen constructies kan hier verwezen worden naar *Vereniging voor Bitumineuze Werken* (1984) en *Vereniging Nederlandse Cementindustrie* (1986). In figuur 2.6.3 zijn enkele constructies met asfalt uit deze literatuur weergegeven. Bij de aanleg van fietspaden dient aandacht te worden geschonken aan het gebruik door onderhoudsverkeer, dikwijls medegebruik of dwarsgebruik door landbouwverkeer en de vlakheid.

Een iets eenvoudiger constructie op een goede draagkrachtige ondergrond is die waarbij de steenfundering afgestrooid wordt met slakkenzand of een laag vooromhulde steenslag van bijvoorbeeld $80 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ wordt toegepast. Deze constructie is minder vlak en dient in beide gevallen te worden afgedekt met één of twee oppervlakbehandelingen.

Een elementenverharding van tegels, betonstenen of gebakken klinkers behoeft een goede ondergrond met een zandbed waarin kan worden gestraat. Dit type geeft dikwijls veel onderhoud en desondanks een matig rijcomfort. Semi-verhardingen kunnen bestaan uit een fundering van circa 20 cm zand waarop een circa 10 cm dikke laag kleischelpen, silex, ingewassen puin, lava, mijnsteen, hoogovenslakken etc. De laatste materialen winnen aan vlakheid door ze af te dekken met enkele centimeters zand of hydraulisch slakkenzand. Ook dit type fietspaden geeft een minder rijcomfort en dikwijls veel onderhoud.

Bij een slecht draagkrachtige ondergrond in klei- of veengebieden dient eerst een betere ondergrond te worden verkregen bij de aanleg alvorens de elementen- of semiverharding



Figuur 2.6.3. Enkele voorbeelden van asfaltconstructies bij fietspaden (bron: Vereniging voor Bitumineuze Werken, 1984).

kan worden aangebracht. Deze verbetering kan worden gerealiseerd door bijvoorbeeld een zandbed van circa 30 cm op een kunststoffolie, waarop circa 15 cm hoogovenslakken wordt aangebracht. In de gevallen met een zeer slechte draagkracht (veen) kan de fundering bestaan uit een in eenmaal aangebrachte laag schuimslakken van 40 à 50 cm op kunststoffolie. In verband met de verbrijzeling van de bovenlaag van deze schuimslakken kan de bovenste laag bij voorkeur worden vervangen of aangevuld met circa 10 cm hoogovenslakken. De deklaag kan dan een vooromhulde steenslag zijn van $80 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ met dichtingslagen of een 6-8 cm dikke koudasfaltconstructie. De semi-verharding kan dezelfde zijn als bij een goede draagkrachtige ondergrond namelijk circa 10 cm kleischelpen, silex, ingewassen puin, lava, mijnsteen etc. op de voornoemde fundering van schuimslakken.

Fietzers op plattelandswegen

Het samengaan van langzaam- en snelverkeer is op plattelandswegen, welke in beperkte mate tevens een functie voor doorgaand verkeer vervullen, onder bepaalde omstandigheden zeker aanvaardbaar.

Van belang hierbij is dat de functie, de vormgeving en het gebruik van de weg goed op elkaar zijn afgestemd (zie par. V. 2.3.1). Een wegbreedte van 3,50 meter kan, gelet op het voorgaande, als een acceptabele wegbreedte worden beschouwd. Het passeren of tegemoet rijden van langzaamverkeer door snelverkeer kan bij deze breedte op een veilige wijze geschieden.

2.6.2. Afsluiting van plattelandswegen voor motorvoertuigen

Indien plattelandswegen slechts een ontsluitingsfunctie voor aanwonenden vervullen of behoren te vervullen, kan worden overwogen deze wegen voor ander gemotoriseerd verkeer af te sluiten. Voornoemde maatregel is met name wenselijk op wegen waarvan door motorvoertuigen oneigenlijk gebruik wordt gemaakt en die tevens een functie als fietsroute vervullen. Om bedoelde afsluiting te effectueren kan geen beroep op de Wegenwet worden gedaan, daar deze wet slechts de mogelijkheid biedt om een weg aan de openbaarheid te onttrekken; dat wil zeggen voor alle verkeer wordt afgesloten. De Wegenverkeerswet met daarin opgenomen het Reglement voor Verkeersregels en Verkeerstekens (RVV) biedt daarentegen wel mogelijkheden tot het afsluiten van wegen voor motorvoertuigen alleen. Tot bedoelde afsluiting kan worden overgegaan indien de veiligheid van het verkeer dit wenselijk maakt. Het nemen van verkeersmaatregelen en het plaatsen van borden moet geschieden bij een besluit van Gedeputeerde Staten (bij provinciale wegen en andere niet rijkswegen buiten de bebouwde kommen in de zin van de Wegenverkeerswet). In het geval dat de onderhavige weg een ontsluitingsfunctie heeft, kunnen ontheffingen op naam worden verstrekt. Een andere mogelijkheid wordt gevormd door het plaatsen van een onderbord bij het verbodsbord met als tekst "*bestemmingsverkeer uitgezonderd*".

Deze mogelijkheid wordt reeds op bescheiden schaal toegepast en functioneert over het algemeen goed. Een onderzoek (*Van Liere*, 1982) naar het effect van laatste genoemde verkeersmaatregel toont aan dat circa 70% van de oneigenlijke gebruikers worden geweerd. Indien de maatregel met een bepaalde frequentie door de politie wordt gecontroleerd, wordt dit percentage 90% of hoger.

Het ligt in de bedoeling om de Wegenverkeerswet aan te passen, waardoor naast het belang van de verkeersveiligheid ook de belangen van milieu, natuur en landschap als reden tot het treffen van maatregelen kunnen gelden.

2.6.3. Voetpaden

Voetpaden voor recreatief gebruik moeten ongeschikt zijn voor ander verkeer en over korte trajecten veel afwisseling bieden. Ze dienen zo min mogelijk samen te lopen met overige wegen en kunnen deel uitmaken van een bewegwijzerde route. Bij het beginpunt kan de aanleg van een parkeerterrein worden overwogen. Verharding van voetpaden is niet

noodzakelijk tenzij de begaanbaarheid dit vereist zoals in modderig terrein of in los zand. Op druk bezochte punten zijn voetpaden nodig voor verkeersgeleiding van parkeerterrein naar attractiepunt en omgekeerd. Het aanbrengen van een eenvoudige verharding is dan wenselijk.

2.6.4. Ruiterpaden

Voor de ruitersport in de openlucht buiten de maneges zijn met gras begroeide paden het meest ideaal voor zover zij niet door te intensief gebruik worden vernield. Overigens vormen paden van zand, met een gering gehalte aan humus of lutum, ter dikte van 0,20 à 0,30 m, goede ruiterspaden.

Uit veiligheidsoverwegingen verdient het in het algemeen geen aanbeveling de wegbermen te gebruiken voor de ruitersport. Op een enkele ondergeschikte weg is het wellicht mogelijk, mits het zandcunet met ongeveer 2,00 tot 2,50 m wordt verbreed en daarna afgedekt met 0,05 à 0,10 m zwarte grond en ingezaaid. Een betere oplossing geven overigens vrijliggende paden die door een plantstrook van de weg zijn gescheiden of afzonderlijke ruiterspaden. De cunetbreedte kan variëren van 0,80 tot 2,10 m (afwisselend naast en achter elkaar rijden).

Soms kunnen op te ruimen wegen met landschappelijk waardevolle begroeiingen door bestemming tot ruiterspaden worden gehandhaafd. Afhankelijk van de gebruiksintensiteit zal het zandbed mogelijk moeten worden verbeterd. Daarbij kan veelal worden volstaan met het uitvullen van gaten en het afdekken met een laag scherp zand van circa 0,10 m.

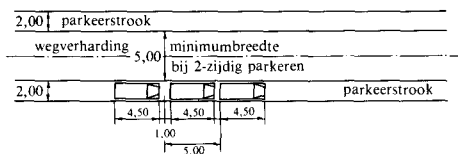
2.6.5. Parkeerterreinen ten behoeve van recreatieve doeleinden

Parkeerterreinen kunnen vooral langs plattelandswegen met een recreatief gebruik voorkomen maar kunnen ook op daarvoor geschikte plaatsen langs de overige plattelandswegen worden aangelegd.

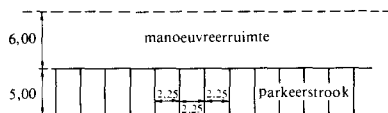
Door een doelmatige situering kan eventuele bermrecreatie worden beperkt en de verkeersveiligheid worden bevorderd.

Teneinde een efficiënt gebruik mogelijk te maken en het parkeren vlot en veilig te doen verlopen dient een parkeerplaats aan een aantal voorwaarden te voldoen. Een afzonderlijke in- en uitgang is bij grote parkeerterreinen wenselijk, waarbij de rijrichting met borden of eventueel op het wegdek wordt aangegeven. Deze in- en uitgangen dienen bij voorkeur niet uit te monden op een drukke verkeersweg. Valt hieraan niet te ontkomen dan moeten verkeerstechnische maatregelen worden getroffen ter bevordering van de verkeersveiligheid (uitvoegstroken, opstelstroken voor links afslaan). Op grotere parkeerterreinen is een duidelijke indeling in opstelvakken noodzakelijk, evenals rijstroken van voldoende breedte tussen de opstelvakken. In figuur 2.6.4 zijn enkele mogelijkheden weergegeven voor de indeling van parkeervakken (*Studiecentrum Verkeerstechniek*, 1986).

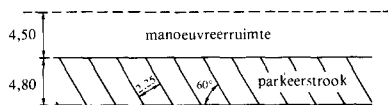
Parallel parkeren.



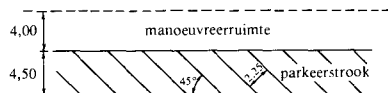
Gestoken parkeren onder een hoek van 90°.



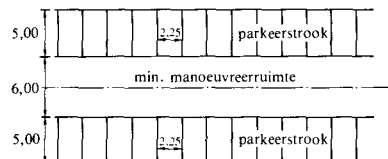
Gestoken parkeren onder een hoek van 60°.



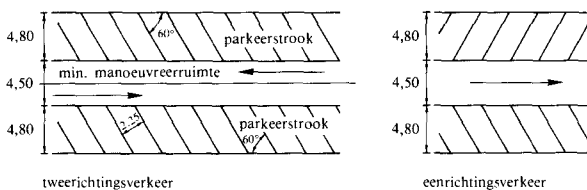
Gestoken parkeren onder een hoek van 45°.



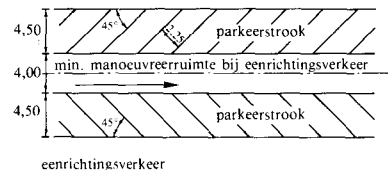
Tweezijdig gestoken parkeren onder een hoek van 90°.



Tweezijdig gestoken parkeren onder een hoek van 60°.

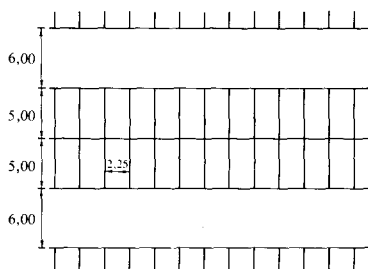


Tweezijdig gestoken parkeren onder een hoek van 45°.

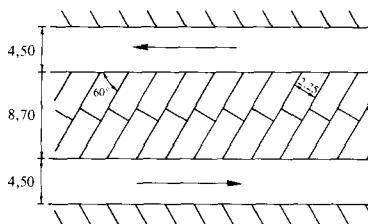


Figuur 2.6.4. Situatietekeningen parkeren (maten in m).

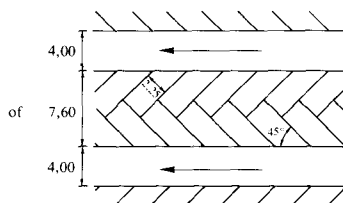
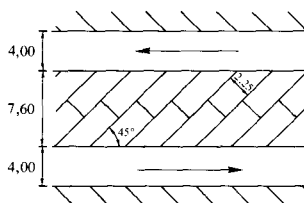
Inrichting van een parkeerterrein bij gestoken parkeren onder een hoek van 90° .



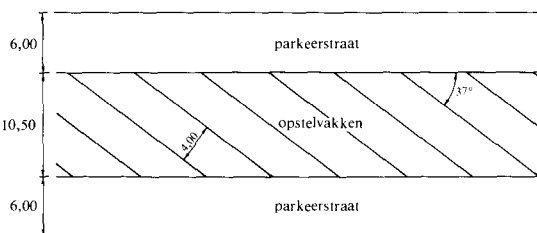
Inrichting van een parkeerterrein bij gestoken parkeren onder een hoek van 60° .



Inrichting van een parkeerterrein bij gestoken parkeren onder een hoek van 45° .



Inrichting van een parkeerruimte voor autobussen (kort parkeren) bij gestoken parkeren onder een hoek van 37° .



Figuur 2.6.4. (vervolg). Situatietekeningen parkeren (maten in m).

Indien zoveel mogelijk voertuigen moeten worden ondergebracht zal gestoken parkeren aanbeveling verdienen en wel bij voorkeur onder een hoek van 90°.

Overigens is de keuze van de hoek waaronder gestoken parkeren zal plaatsvinden sterk afhankelijk van de vorm en de situering van het terrein. Vooral bij kleinere terreinen zijn deze factoren vaak maatgevend. Bij gestoken parkeren onder een hoek < 90° moet één-richtingsverkeer worden ingevoerd.

In tabel 2.6.6 is voor een aantal hoeken de indeling van parkeerterreinen aangegeven.

Tabel 2.6.6. Indeling parkeerterreinen bij gestoken parkeren.

Parkeerhoek t.o.v. rijstrook	Breedte parkeervak (m)	Lengte parkeervak (m)	Breedte rijstrook (m)	Grondgebruik per auto m ² ¹⁾
90°	2,25	5,00	6,00	19,7
60°	2,25	4,80	4,50	20,9
45°	2,25	4,50	4,00	21,7

¹⁾ Met overhoeken is geen rekening gehouden; het feitelijke grondgebruik per auto kan daardoor hoger zijn.

Van de hiervoor genoemde algemene maten kan, afhankelijk van de omstandigheden, enigszins worden afgeweken. Voor de breedte van een parkeervak kan 2,25 m worden aangehouden. Indien het parkeerterreinen betreft voor kort parkeren, moet vanwege de parkeersnelheid een vakbreedte van 2,50 m worden aanbevolen. Algemene richtlijnen voor het optimaal inrichten van relatief grote parkeerterreinen zijn als volgt:

- de randen van het beschikbare terrein dienen van een enkelvoudig parkeerstrook te worden voorzien;
- op het overblijvende middengedeelte dienen één of meer dubbele parkeerstroken te worden aangebracht;
- afhankelijk van de breedte van het beschikbare terrein dient de hoek waaronder men parkeert zo te worden gekozen, dat de breedte van het terrein optimaal wordt benut. Hierbij is elke hoek tussen de 30° en 90° denkbaar. Voor de beschreven parkeervakindeling dient het beschikbare terrein een breedte van minimaal 19 meter te hebben.

Indien een parkeerterrein ook door bussen wordt gebruikt moet hiervoor een aparte opstelruimte worden gereserveerd met opstelvakken van 3,50 à 4,00 m × 9,75 (bij 30°) à 12,75 m (bij 60°). Voor motorrijwielen, scooters en bromfietzers zijn opstelvakken nodig van 1,00 × 2,60 m.

Ten slotte is het bij parkeerterreinen waar veel fietsers verwacht kunnen worden wenselijk nog een parkeergelegenheid te maken voor fietsen. Hierbij kan gebruik worden gemaakt van diverse soorten standaards en klemmen welke in de handel zijn. In vele gevallen kan echter worden volstaan met eenvoudige houten hekjes van circa 1,00 m hoogte. Ontbreken

deze voorzieningen dan heeft het weinig zin aparte opstelvakken voor fietsen aan te geven. Om ongelukken te voorkomen verdient het dan wel aanbeveling aparte ruimten voor fietsen, gescheiden van het parkeerterrein voor motorvoertuigen, te reserveren.

De constructie van parkeerterreinen dient te worden aangepast aan de gebruiksintensiteit en kan afhankelijk van de omstandigheden summier zijn. Bij de constructie van parkeergelegenheden voor echte seizoenvoorzieningen, zoals strandbaden, is het verantwoord alleen de rijbanen en eventueel een gedeelte (de helft) van de parkeervakken van een goede verharding te voorzien. Dit is mogelijk omdat het topgebruik slechts enkele verspreid liggende dagen per jaar voorkomt en dan nog veelal gedurende droog weer. De resterende oppervlakte kan worden ingezaaid, eventueel na het aanbrengen van verhardingsmateriaal als bijvoorbeeld mijnsteen, silex en dergelijke, afgedekt met 0,05 m zwarte grond. In alle gevallen dient aan de ontwatering van parkeerterreinen veel aandacht te worden besteed.

2.6.6. Wegen met overwegend recreatief gebruik

Uit de in het verleden verrichte verkeerswaarnemingen is gebleken dat vele plattelandswegen een duidelijke functie voor de recreatie vervullen. In sommige voor de recreatie aantrekkelijke gebieden geldt dit voor vrijwel alle wegen. In overige gebieden speelt het recreatieverkeer veelal een ondergeschikte rol, behalve op wegen met een uitgesproken recreatief karakter zoals toegangswegen naar recreatiepunten. Voor deze "recreatiewegen" is het recreatief verkeer maatgevend voor het wegontwerp. De hierop te baseren ontwerpcriteria zijn andere dan die aan het normale plattelandswegennet worden gesteld. Zo zal men ten aanzien van ontwerpsnelheid en verharding minder strenge eisen behoeven te stellen. Anderzijds is een optimale aansluiting op het planwegennet gewenst, ten einde overbelasting van het plattelandswegennet door sluipverkeer te voorkomen.

2.7. Dimensionering van verhardingsconstructies

2.7.1. Inleiding

Een verhardingsconstructie dient ervoor de verkeerslasten op de ondergrond over te brengen op een zodanige wijze dat er geen deformaties optreden. Voor het dimensioneren van verhardingsconstructies voor wegen zijn een drietal factoren van evident belang, te weten:

- de verkeersbelasting;
- de draagkracht van de ondergrond;
- de restwaarde van de bestaande verhardingsconstructie bij reconstructies.

De verkeersbelasting geeft in de verschillende lagen en in de ondergrond spanningen en vervormingen die sterk afhangen van de grootte van de lasten, de mechanische eigenschappen van de toegepaste wegebouwmaterialen, de dikte ervan en de draagkracht van de ondergrond, waartoe ook een bestaande verhardingsconstructie kan worden gerekend. Het dimensioneren van een verhardingsconstructie omvat naast het kiezen van de materialen het vaststellen van de dikte van de verschillende lagen, en wel zodanig dat nergens in de constructie toelaatbare spanningen of vervormingen worden overschreden. Verschillende combinaties van laagdikten en materialen zijn dikwijls mogelijk zodat de meest economische constructie kan worden bepaald. Was tot voorheen het ontwerpen van verhardingsconstructies overwegend een ervaringskwestie, de laatste decennia is er hard gewerkt aan de ontwikkeling van diverse ontwerpmethoden. Deze zijn vrijwel alle ontstaan als gevolg van het toegenomen inzicht in de mechanische eigenschappen van de wegebouwmaterialen en geven hulpmiddelen voor de bepaling van verhardingsconstructies. In het navolgende wordt nader ingegaan op de verschillende factoren welke van belang zijn bij de dimensionering van verhardingsconstructies. Nadrukkelijk moet worden opgemerkt dat het ontwerpen van verhardingsconstructies niet slechts het simpel aflezen van grafieken is. De bij vrijwel alle ontwerpmethoden voorkomende grafieken en tabellen zijn gebaseerd op met bepaalde materialen en constructies opgedane ervaringen, op aannamen en op vereenvoudiging van vaak zeer ingewikkelde belastingpatronen. Een gedegen kennis van de achtergronden van de diverse methoden is voor een juiste interpretatie onmisbaar. Zoals uit het navolgende zal blijken is een aan het ontwerp voorafgaande analyse van het verkeer van essentieel belang evenals een onderzoek naar de eigenschappen van de ondergrond. Specialistische kennis en ervaring blijven een grote rol spelen bij het dimensioneren van verhardingsconstructies.

2.7.2. De verkeersbelasting

Voor het ontwerpen van een wegconstructie is kennis noodzakelijk van de te verwachten frequenties en zwaarten van aslasten omdat deze met name bepalend zijn voor de levensduur van de weg. Uit proefnemingen (onder andere de AASHO-Road Test: American Association of State Highway Officials) is gebleken dat met name de grotere asdrukken sterk bijdragen tot schade aan de wegconstructie.

Om te kunnen komen tot een uniforme en in berekeningen toepasbare verkeersbelasting, uitgedrukt in een aantal aslastherhalingen gedurende de ontwerpperiode (N), worden de willekeurige aslasten door middel van een equivalentiefactor omgezet in een equivalente asdruk: de standaardaslast. Doorgaans wordt hiervoor een aslast van 80 kN of 100 kN aangehouden.

Uit onderzoek naar de relatie tussen de mate van schade en de aslast is gevonden dat de schade evenredig is met de 4^e macht van de aslast. Tabel 2.7.1 geeft de relatie weer tussen een willekeurige aslast en de standaardaslast van 80 kN.

Tabel 2.7.1. Relatie tussen willekeurige aslast en een standaardaslast van 80 kN.

Aslast (kN)	Equivalentiefactor 80 kN	Aslast (kN)	Equivalentiefactor 80 kN
10	0,0002	90	1,60
20	0,004	100	2,44 *
30	0,02	110	3,57
40	0,06	120	5,06
50	0,15	130	7,0
60	0,32	140	9,4
70	0,59	150	12,4
80	1,00		

* Wettelijk toegestane maximum aslast.

Uit tabel 2.7.1 blijkt dat het effect van 5.000 aslasten van 10 kN gelijk gesteld kan worden aan de invloed van één aslast van 80 kN op de constructie.

Door de sterke invloed van de hoge aslasten op de verhardingsconstructie zijn die van het vrachtverkeer maatgevend en kan de invloed van personenauto's op het wegontwerp worden verwaarloosd bij plattelandswegen.

Voor de bepaling van de aslasten in de ontwerp-levensduur, veelal op 20 jaar aangehouden, is kennis van de te verwachten ontwikkeling van het vrachtverkeer een vereiste. Voor de bepaling of het hanteren van aannamen betreffende intensiteit, percentage vrachtverkeer en verdeling over de vrachtwagencategorieën (asklassen) mogelijk is, is kennis gewenst van de frequenties van voorkomen, het gemiddelde en de standaardafwijking van genoemde aspecten. Hiernaar is door de Landinrichtingsdienst bij plattelandswegen onderzoek verricht over de periode 1974-1978 (*De Wit, 1979*). In de tabellen 2.7.2 t/m 2.7.5 worden enige relevante resultaten van dit onderzoek weergegeven.

Bij de tabellen 2.7.2 en 2.7.3 moet vermeld worden dat het aangegeven aantal waargenomen voertuigen hoog is voor de onderscheiden breedtecategorieën daar er telgegevens zijn geanalyseerd van wegen waar problemen waren met de verkeersafwikkeling. In dit onderzoek is bepaald dat in Nederland 11% van de lengte verharde plattelandswegen van het type 2 is 57% van het type 3, 20% van het type 4 en 12% van het type 5.

Tabel 2.7.2. Gemiddelde voertuigintensiteit per etmaal, de standaardafwijking (*S*) en de bovengrens van het 95 % betrouwbaarheidsinterval per type plattelandsweg.

Wegbreedte-categorie	Gem. intensiteit v.d. waarneming op wegen met bermbeschadiging (mvt · d ⁻¹)	Standaard-afwijking <i>S</i>	Bovengrens van het 95% betrouwbaarheidsinterval
2	310	180	600
3	420	231	800
4	845	441	1.570
5	1.410	908	2.900

Tabel 2.7.3. Gemiddelde percentage vrachtverkeer per werkdag, het gemiddelde aantal vrachtauto's (*x*), de standaardafwijking (*S*) en de bovengrens van het 95 % betrouwbaarheidsinterval per breedte-categorie.

Wegbreedte-categorie	Vrachtverkeer		Standaard-afwijking <i>S</i>	Bovengrens van het 95% betrouwbaarheidsinterval
	%	<i>x</i>		
2	3,9	12	10,5	29
3	5,2	22	22,3	59
4	5,1	43	32,5	97
5	6,7	95	71,2	212

Het vrachtverkeer is onder te verdelen in verschillende asconfiguraties. Het gemiddelde aantal vrachtauto's per werkdag verdeeld over de onderscheiden asconfiguraties is weer-gegeven in tabel 2.7.4.

In deze tabel is tevens de standaardafwijking en de bovengrens van het 95 % betrouwbaarheidsinterval weergegeven.

Tabel 2.7.4. Gemiddeld aantal vrachtauto's per werkdag, (*x*), de standaardafwijking (*S*) en de bovengrens van het 95 % betrouwbaarheidsinterval per asconfiguratie, per breedte-categorie.

Weg-breedte categorie	2-assen			3-assen			4-assen			5-assen		
	<i>x</i>	<i>S</i>	95%	<i>x</i>	<i>S</i>	95%	<i>x</i>	<i>S</i>	95%	<i>x</i>	<i>S</i>	95%
2	11	10,3	28	0	1,1	2	0	0,9	2	0	0,4	1
3	15	16,1	41	5	10,4	22	1	2,4	5	1	2,3	4
4	31	23,4	68	9	11,4	27	2	3,7	8	2	8,1	15
5	63	47,7	141	21	32,4	75	7	6,9	18	4	6,0	13

Naast de intensiteit en het totale aantal is het gewicht per asconfiguratie van belang. Door de werkgroep O3 van het SCW (*Studiecentrum Wegenbouw*, 1987) zijn metingen verricht op diverse autosnelwegen naar de verscheidene asconfiguraties. Het aantal metingen omvatte enkele tienduizenden vrachtwagens. Indien de diverse typen binnen een asconfiguratie worden omgezet met behulp van de frequentie van voertuigkilometers per voertuigtype, kan per asconfiguratie het in tabel 2.7.5 gepresenteerde overzicht worden gegeven.

Tabel 2.7.5. Gemiddelde belasting per vrachtauto per asconfiguratie in standaard aslasten van 80 en 100 kN.

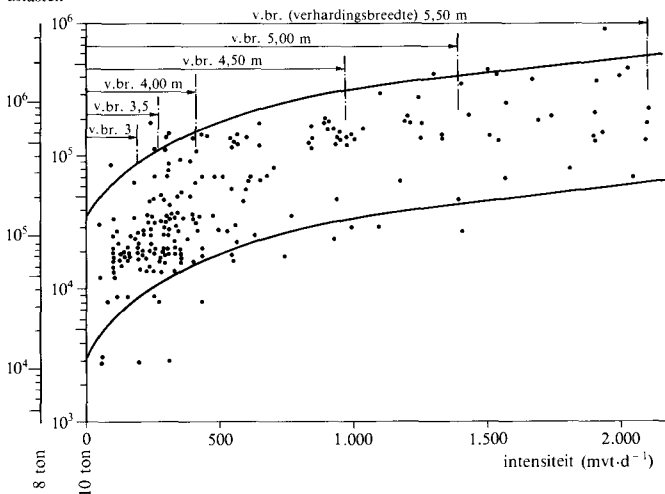
Asklassen	Gem. belasting per vrachtauto uitgedrukt in standaardaslasten van 100 kN	Gem. belasting per vrachtauto uitgedrukt in standaardaslasten van 80 kN
2	0,30	0,73
3	0,86	2,08
4	1,45	3,51
5	1,99	4,82

Uitgaande van de onderverdeling van het totale vrachtverkeer in de verschillende typen vrachtwagens (tabel 2.7.4) en het in tabel 2.7.5 gegeven gemiddelde belastingseffect per asconfiguratie kan de gemiddelde belasting per vrachtauto per wegbreedte-categorie worden bepaald.

Gelet op de grote standaardafwijkingen en het verschil tussen het gemiddelde en de 95% betrouwbaarheidsinterval bij de voertuigintensiteiten, percentage vrachtverkeer en de asconfiguraties verdient het hanteren van aannamen ten aanzien van voornoemde aspecten geen aanbeveling (*De Wit*, 1979). Een cumulatie van positieve of negatieve aannamen kan een voorspelling geven welke een 5-10-voud te laag of te hoog is. Om redenen van gewenste betrouwbaarheid dient de voertuigintensiteit, het percentage vrachtverkeer en de frequentie van voorkomen van de onderscheiden aslasten door middel van mechanische en visuele verkeerstellingen te worden bepaald. Voor de tellingen wordt doorgaans een systeem toegepast waarbij in voor- en najaar gedurende 3 weken mechanisch wordt geteld en visueel de verdeling over de verschillende weggebruikers wordt bepaald. Uit controlestellingen gedurende een heel jaar is komen vast te staan dat de uit de gerichte voor- en najaarstellingen verkregen *N*-waarde voor een jaar minder dan 10% afwijkt van het werkelijke aantal aslastherhalingen in dat jaar. De hierbij verkregen waarde van *N* mag dus zeer betrouwbaar worden geacht voor de ontwerpberoekeningen. Ter illustratie is in figuur 2.7.1 van een aantal plattelandswegen het berekende aantal equivalente aslastherhalingen (ontwerpgetal *N*) uitgezet, welke zijn verkregen na tellingen.

Hierbij blijkt een grote spreiding voor te komen in verkeersbelasting bij de onderscheiden wegbreedte-categorieën. Zo kan bijvoorbeeld op een weg met een verhardingsbreedte tot 4,00 m de verkeersbelasting variëren van $5 \cdot 10^4$ tot $5 \cdot 10^5$ equivalente aslasten van 80 kN.

equivalente
aslasten



Figuur 2.7.1. *Overzicht van de spreiding van een aantal gemeten N-waarden op plattelandswegen van verschillende breedte.*

Naast het getelde aantal aslasten is het totaal van deze lasten gedurende de ontwerpperiode van 20 jaar van belang. Het gedurende deze periode te verwachten aantal wordt door een drietal ontwikkelingen bepaald. Hierbij moet worden gedacht aan de groei of afname in de opbrengsten per ha van de produkten, de toename van het gemiddelde laadvermogen en de toename van het gemiddeld aantal equivalente aslastherhalingen van vrachtauto's; dit laatste als gevolg van de toename van het laadvermogen en treingewicht. De verwachte geringe daling van het absolute aantal vrachtwagens zal geen daling van het aantal equivalente aslastherhalingen te zien geven. Door de hogere treingewichten en aslasten kan de verwachte groei in het aantal equivalente aslastherhalingen vanaf 1980 op 1% per jaar worden gesteld. Om het aantal equivalente aslastherhalingen voor een ontwerpperiode van 20 jaar te bepalen dient het bepaalde aantal in het basisjaar dan met circa 22 te worden vermenigvuldigd.

2.7.3. Draagkracht van de ondergrond

Inleiding

De in Nederland voorkomende grondsoorten kunnen grofweg worden onderverdeeld in klei, leem, veen en zand. Classificatie ervan kan geschieden met behulp van de veldcodering van grondsoorten uitgegeven door de Cultuurtechnische Dienst (thans Landinrichtingsdienst) welke is weergegeven in de hierna volgende paragraaf. (*Cultuurtechnische Dienst*, 1967).

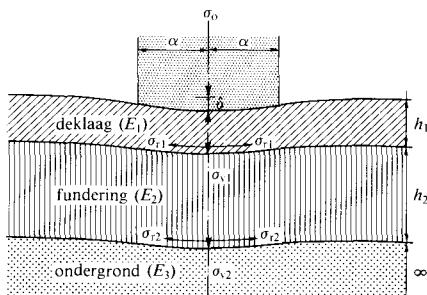
In klei- en leemgebieden kan de verharding gewoonlijk niet rechtstreeks op de ondergrond worden aangebracht. Noodzakelijkerwijs moet eerst een fundering, al dan niet met een zandbed, in of op het maaiveld worden aangebracht.

Een relatief dunne laag veen op niet te grote diepte zal gewoonlijk worden vervangen door zand. Bij zeer dikke lagen veen, zoals deze bijvoorbeeld voorkomen in het westen van ons land, is het veelal economisch niet meer verantwoord de gehele veenlaag te vervangen door zand. Het zandbed wordt dan weggelaten en de verharding opgebouwd uit zo licht mogelijke materialen, die bij voorkeur op het maaiveld worden aangebracht.

In zandgebieden is het soms mogelijk de verharding direct te laten rusten op de natuurlijke ondergrond. Dit is afhankelijk van de mate van vorstgevoeligheid van de ondergrond, welke wordt bepaald door het gehalte aan fijne delen, het humusgehalte en de waterhuishouding. Bij grote vorstgevoeligheid wordt ook in dit geval een grondverbetering toegepast door het aanbrengen van een zandbed van goede samenstelling. Een uitzondering hierbij zijn de licht belaste betonwegen tot het wegtype 4.

Het draagvermogen van de ondergrond kan op verschillende manieren worden vastgesteld. De wijze waarop dit gebeurt wordt veelal bepaald door de toe te passen dimensioneringsmethode. De ondergrond moet de wegconstructie en de verkeersbelasting kunnen dragen zonder dat toelaatbare spanningen of vervormingen worden overschreden. De voor een statische belasting uitgevoerde berekeningen blijken ook voor de door het rijden- de verkeer uitgeoefende dynamische belasting toepasbaar te zijn, mits de elasticiteitsmoduli van de materialen zijn aangepast aan de juiste (korte) belastingstijd. Door verschillende onderzoekers zijn oplossingen gegeven voor meerlagensystemen (zie bijvoorbeeld figuur 2.7.2) tot waartoe de wegconstructie schematisch wordt herleid.

*Figuur 2.7.2.
Voorbeeld van een geschematiseerd
drielagensysteem.*



De rekenmodellen gaan uit van een aantal aannamen ten aanzien van de eigenschappen van de materialen:

- de materialen zijn lineair-elastisch, homogeen en isotroop;
- de verkeerslast is gelijkmatig verdeeld op een cirkelvormig oppervlak; er treed geen schuifspanning op aan het wegooppervlak;

- er bestaat geen wrijving (bijvoorbeeld Jeuffroy) of volledige wrijving (bijvoorbeeld Jones) op de scheidingsvlakken tussen de lagen;
- de constante van Poisson, een verhouding tussen relatieve verkorting en relatieve verlenging bij op het materiaal uitgeoefende trekkracht, varieert niet.

Voor de berekeningen van de optredende spanningen en vervormingen (rek en stuik) zijn de benodigde gegevens:

- de elasticiteitsmoduli;
- de dikte van de lagen;
- de grootte van de belasting en de vorm van het oppervlak waarop de belasting aangrijpt;
- de constanten van Poisson van de materialen.

Voor berekening van de toelaatbare rek en stuik zijn de gegevens betreffende de elasticiteitsmoduli en het aantal belastingherhalingen van belang.

Bij de toepassing van betonverhardingen is nog van belang de beddingconstante van de plaatondersteuning. Om enige indruk van de diverse waarden te geven zijn in tabel 2.7.6 elasticiteitsmoduli weergegeven van diverse ophoog- en funderingsmaterialen.

Tabel 2.7.6. Globale waarden van de dynamische elasticiteitsmoduli van verschillende bouwmaterialen.

Materiaal	<i>E</i> (in $\text{N} \cdot \text{mm}^{-2}$)	
zand	100 -	200
grindzand	200 -	400
metseiwerkpuin (gebroken)	200 -	500
steenslag	300 -	400
mijnsteen	200 -	300
schuimslak	250 -	350
vuilverbrandingsslak	200 -	300
betonpuin (gebroken)	800 -	1.000
hoogovenslakken (voor binding)	400 -	800
hoogovenslakken (na binding)	2.000 -	3.000
zandasfalt (10°C)	1.500 -	2.500*
grindasfaltbeton (10°)	5.000 -	8.000*
asfaltbeton (10°C)	6.000 -	8.000
schuimbeton	1.500 -	5.000
vlieg-as/cement-stabilisatie	3.000 -	5.000
zand-cement	6.000 -	12.000
schraalbeton	15.000 -	20.000

N.B. Voor de gebonden materialen gelden de aangegeven waarden als die materialen in ongescheurde toestand verkeren.

De met een * gemerkte waarden gelden bij een belastingstijd van $1/50$ s en bij een temperatuur van 10°C . Bij hogere temperaturen liggen de waarden aanzienlijk lager. Bij 30°C voor grindasfaltbeton bijvoorbeeld $800\text{--}1.000$ en voor dicht asfaltbeton $1.000\text{--}2.000 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$.

In het algemeen is een ondergrond slechts zonder nadere bewerking geschikt als fundering als de elasticiteitsmodulus of E -waarde ten minste $100 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$ bedraagt. Dat komt overeen met een sondeerwaarde van circa $2,5 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$ of een CBR-waarde van 10%. Bovendien mag er geen te hoge grondwaterstand voorkomen (in verband met verweking) en het materiaal mag niet opdooigevoelig zijn. Ter vergelijking zijn de E -waarden voor veen in Nederland dikwijls kleiner dan $20 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$ en voor kleigronden $30\text{--}80 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$. In verband met de opdooigevoeligheid is een hoogte van de verharding van 0,80-1,00 m boven de grondwaterstand aan te bevelen.

Zoals hiervoor reeds vermeld kan het draagvermogen van de ondergrond, de grondverbetering of de lagen waaruit een verhardingsconstructie wordt opgebouwd op verschillende manieren worden bepaald.

Door het nemen van eenvoudige laboratoriumproeven, zoals een zeefanalyse, is het mogelijk de grond te classificeren en een globaal inzicht te krijgen in de draagkracht. Bekende classificatiesystemen zijn bijvoorbeeld de AASHO-classificatie (*American Association of State Highway Officials*) en het United Soil System. Een nauwkeuriger methode ter bepaling van de draagkracht is de CBR-proef (*California Bearing Ratio*), de plaatbelastingsproef en deflectiemetingen, welke in hfdst. V. 2.8. worden beschreven.

Veldcodering van grondsoorten

Inleiding

Bij de voorbereiding van cultuurtechnische wegenbouwprojecten is het gebruikelijk vooraf bodemonderzoek te verrichten in de vorm van boringen en handsonderingen, onder andere teneinde aan de hand daarvan te kunnen vaststellen in hoeverre grondverbetering noodzakelijk is.

Uiteraard moeten de uitkomsten van deze boringen en sonderingen in één of andere notitie worden weergegeven. Bij de sonderingen is dit geen probleem, bij de boringen daarentegen is in het verleden veel overgelaten aan het persoonlijk inzicht van de opnemer, hetgeen vooral bij de niet geheel zuivere zanden herhaaldelijk aanleiding heeft gegeven tot moeilijkheden. Benamingen als bruin zand, gemengde grond, humus zand, leemhoudend zand, en dergelijke bleken allerm minst eenduidige begrippen te zijn. Daardoor werd nu eens te veel dan weer te weinig grondverbetering toegepast, in beide gevallen met niet onbelangrijke technische en financiële consequenties.

Teneinde begripsverwarring te voorkomen werd een systeem voor veldcodering ontworpen. Dit systeem heeft inmiddels algemeen ingang gevonden bij de voorbereiding van cultuurtechnische objecten en blijkt aan de gestelde eisen te voldoen.

De oorspronkelijke uitgave werd voorbereid door een commissie bestaande uit vertegenwoordigers van de Koninklijke Nederlandsche Heidemaatschappij, de N.V. Grontmij en de Cultuurtechnische Dienst, terwijl advies werd ingewonnen van het rijkswegebouwlaboratorium. Hoewel de codering ontworpen is ten behoeve van het bodemkundig onderzoek ten behoeve van de wegenbouw, is een zodanige opzet gekozen dat ook andere toepassingen mogelijk zijn.

Indeling van grondsoorten en notaties

De notaties worden achter elkaar geplaatst in dezelfde volgorde als de onderdelen van deze paragraaf.

ZANDFRACTIE

(Deeltjes tussen 0,05 en 2 mm of 50 - 2.000 micron; M50 - cijfer = mediaan. Op te geven bij zandgronden) M50:

50 - 75	} uiterst fijn zand	A
75 - 105		B
105 - 150	zeer fijn zand	C
150 - 210	matig fijn zand	D
210 - 300	} matig grof zand	E
300 - 420		F
420 - 1.000	} zeer grof zand	G
1.000 - 2.000		H

LEEMFRACTIE

(Deeltjes kleiner dan 0,05 mm = 50 micron = 50 mu. Gewichtspercentage. Op te geven bij zandgronden):

0 - 5%	zeer leemarm zand	0
5 - 10%	matig leemarm zand	1
10 - 18%	zwak lemig zand	2
18 - 33%	sterk lemig zand	3
33 - 50%	zeer sterk lemig zand	4
50 - 85%	zandige leem	5
> 85%	zandarme leem	6

Voor de groepen 1 en 2 kan desgewenst aangegeven worden, dat het percentage leem onder- of boven in de groep zit door aan de leemcode een - of een + toe te voegen.

Bijvoorbeeld leemgehalte 5 - 7% = 1 -
8 - 10% = 1 +

LUTUMFRACTIE

(Deeltjes kleiner dan 0,002 mm = 2 micron = 2 mu. Gewichtspercentage. Op te geven bij kleigronden):

0 - 3%	zand	L 0
3 - 5%	matig kleiarm zand	L 1
5 - 8%	kleiig zand	L 2
8 - 12%	zeer lichte zavel	L 3
12 - 18%	matig lichte zavel	L 4
18 - 25%	zwarte zavel	L 5
25 - 35%	lichte klei	L 6
35 - 50%	matig zware klei	L 7
50 - 65%	zeer zware klei	L 8
> 65%		L 9

Beneden de 8% lutum wordt voor zover het wegenbouwobjecten betreft, tevens het leemgehalte (< 50 micron) en het M50-cijfer geschat.

ORGANISCHE STOF

Voor kleiarme grondsoorten wordt de volgende indeling gebruikt.

0 - 1%	zeer humusarm	H 0
1 - 3%	matig humusarm	H 1
3 - 5%	matig humeus	H 2
5 - 10%	zeer humeus	H 3
10 - 15%	humusrijk	H 4

Bij wegebouwojecten wordt de klasse H 0 steeds vermeld. Bij grondsoorten met een hoog kleigehalte (deeltjes kleiner dan 2 micron) liggen de grenzen van de humusklassen hoger, zoals weergegeven in de organische stofdriehoek (figuur 2.7.3).

Voor gronden met hoge gehalten aan organische stof worden de hierna vermelde aanduidingen gebruikt.

ANDERE GRONDSOORTEN

Mergel	MG
Grind (50 > 2.000 micron)	GR
Gliede	GL
Venig zand (zandgrond met duidelijk weinig karakter)	VZ
Zandig veen (veengrond met duidelijk zandige bijmenging)	ZV
Venige klei (kleigrond met duidelijk weinig karakter)	VK
Kleiig veen (veen met duidelijk kleiige bijmenging)	KV
Veen (gronden met een overwegend weinig karakter, waarin minerale delen niet te herkennen zijn)	VN

FACULTATIEVE AANDUIDINGEN

VV = verslagen veen, moermolm, gyttja e.d.

VM = mosveen

VW = (woud)bosveen

VB = bolsterveen

VA = veraard veen

VR = rietveen

VC = zeggeveen (carex)

VG = grauwveen

VE = broekveen (onder andere els)

VL = lokveen

VS = spalterveen

KALKGEHALTE

(Te bepalen met 12,5% zoutzuur, alleen aangeven indien gewenst):

kalkloos	geen reactie	C 0
kalkarm	bruist niet zichtbaar, tikt wel	C 1
kalkhoudend	zwak bruisend	C 2
kalkrijk	sterk bruisend	C 3

BIJZONDERE AANDUIDINGEN

Uitspoelingslaag (loodzand of A2-laag)	U
Inspoelingslaag (oerlaag)	I
Inspoelingslaag verkit	+I
Gelaagd	G
Sterk gelaagd	+G
Zuur (kattelei, kattezand)	Z
Keileem	K
Löss	L

BIJMENGINGEN

Resten van hout (kienhout)	R
Veel resten van hout	+R
Schelpen	S
Veel schelpen	+S
Grind, bijmenging 0-20%	X
Veel grind, bijmenging 20-50%	+X
IJzerconcreties	Y
Veel ijzerconcreties	+Y
Puin of stenen	P
Veel puin en stenen	+P

Toelichting op de indeling van grondsoorten en notaties

ALGEMEEN

De codering is gebaseerd op de indeling in klassen van de Stichting voor Bodemkartering. Slechts op enkele punten wijkt de gebruikte indeling hiervan af, zoals hieronder nader uiteengezet zal worden. De codering is ontworpen ten behoeve van het bodemkundig onderzoek voor de wegenbouw, maar kan ook voor alle andere soorten van bodemkundig onderzoek gebezigd worden.

Een indeling en codering voor grindgronden is hier niet gegeven. Deze kan eventueel nog nader uitgewerkt worden en aangepast worden (voor zover mogelijk) aan de indeling gegeven op het normaalblad N 209. De gehalten waarop de klasse-indeling is gebaseerd zijn voor zover het zand, leem en klei (lutum) betreft, opgegeven in gewichtsprocenten van de minerale stof, voor zover deze bestaat uit deeltjes kleiner dan 2.000 micron.

Het humusgehalte is bepaald in gewichtsprocenten ten opzichte van droge grond waaraan de deeltjes groter dan 2.000 micron zijn onttrokken.

Deze indelingswijze is internationaal gebruikelijk bij bodemkundige instellingen. Bij grindrijke gronden kan hierdoor verschil optreden met andere niet bodemkundige beoordelingen. Aangezien het bodemkundig onderzoek bijvoorbeeld voor wegen in het algemeen ook door bodemkundig geschoold personeel zal geschieden leek het juister de bodemkundige klassificatie aan te houden om geen verwarring te stichten. Ook is het hierdoor mogelijk een direct verband te leggen met de beschikbare bodemkaarten van Nederland, onder andere de Nebokaart en de Bodemkaart van Nederland, schaal 1 : 50.000.

GROFHEID VAN HET ZAND

De terminologie is aangepast bij die van de Stichting voor Bodemkartering. Het aantal klassen is evenwel uitgebreid. Door een fijnere verdeling in de hogere groepen (F, G en H) is men beter in staat de geschiktheid van het zand voor civieltechnische toepassingen (metselzand, betonzand en dergelijke) te karakteriseren. De verwerking van de codering op ponskaarten en computers noopte tot het gebruik van hoofdletters voor de classificatie. Met nadruk zij erop gewezen dat de hier gebruikte aanduidingen niet dienen te worden verward met horizontbenamingen of met aanduidingen van zanden voor asfaltmengsels volgens de Standaard 1985 (*Stichting RAW*, 1985).

LEEMFRACTIE

De Stichting voor Bodemkartering kent de 5%-grens niet. Deze werd ingevoerd om aansluiting bij de tot voor kort geldende eisen van Rijkswaterstaat mogelijk te maken. De schatting van deze grens in het veld stuit op moeilijkheden, zodat voor een goede bepaling laboratoriumonderzoek gewenst is, althans in die gevallen dat het onderscheid tussen de groepen 0 en 1 van belang is. Getracht zal worden een eenvoudige veldbepaling te ontwikkelen. De halve procenten (17,5 en 32,5), welke tot nu toe gebruikelijk waren, zijn afgerond naar boven.

LUTUMFRACTIE

De grens 3% blijkt voor de wegenbouw en voor civiele toepassingen in het algemeen belangrijk, aangezien zandgrond met meer dan 3% lutum duidelijke plastische eigenschappen vertoont.

De 65%-grens is een verfijning, welke van beperkt belang is, maar die wellicht voor bepaalde gevallen enig nut kan hebben. Beneden 8% lutum wordt bij wegenbouwobjecten ook een leemgehalte en het M50-cijfer geschat om de eigenschappen van het materiaal te karakteriseren (ook bij andere toepassingen zou dit nuttig kunnen zijn).

ORGANISCHE STOF

De indeling in humusklassen is uitgebreid met de grens van 3% terwille van de normen van Rijkswaterstaat voor wegzand. De organische stofdriehoek van de Stichting voor Bodemkartering is vrijwel geheel overgenomen, behoudens de 3/4 en de 1,5%-grenzen. Deze zeer fijne onderscheiding is gebaseerd op bosbouwkundige factoren. Voor toepassingen in de civiele en cultuurtechniek is de 1%-grens voldoende.

ANDERE GRONDSOORTEN

Bij gronden met hoge gehalten aan organische stoffen worden de bovenvermelde fracties niet afzonderlijk aangegeven, maar wordt volstaan met een enkelvoudige aanduiding. De problemen rond de definiëring van zandig veen, venige klei enz. komen dankzij het gebruik van de organische stofdriehoek (fig. 2.7.3) te vervallen. Voor de gebruiker is echter een visuele beschrijving van de begrippen gegeven.

Een enkelvoudige aanduiding wordt ook gebruikt voor enkele andere grondsoorten, die met de vorenstaande codering niet of moeilijk zijn te beschrijven. De facultatieve aanduidingen voor de verschillende soorten veen behoeven slechts te worden gebruikt indien daaraan behoefte bestaat.

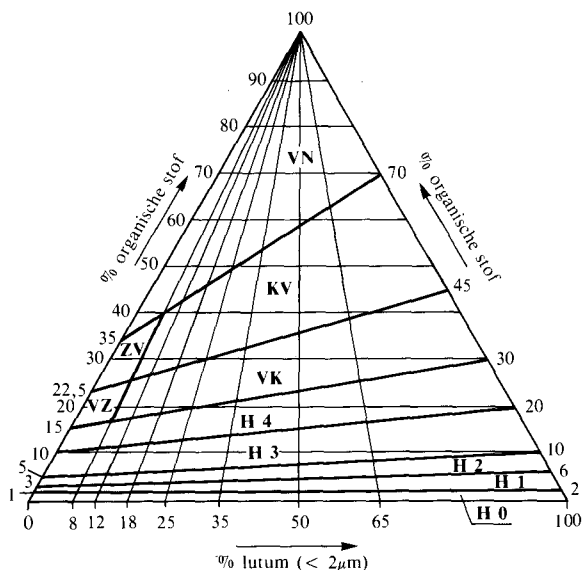
KALKGEHALTE

Hierbij is niet naar verfijning gestreefd. De mate van opbruisen met 12,5% HCl is niet alleen afhankelijk van het CaCO_3 gehalte, maar ook van de textuur en het vochtgehalte. De vier klassen geven alleen een ruwe indicatie die voor nadere precisering in het laboratorium geverifieerd moet worden.

BIJZONDERE AANDUIDINGEN

De gekozen aanduidingen zijn zoveel mogelijk beperkt tot die eigenschappen, die van direct praktisch belang zijn voor de civiele en cultuurtechniek.

Figuur 2.7.3.
Aanduiding grondsoort op basis van
het organische stofgehalte.



de percentages zijn betrokken op 100% minerale delen

Men kan zich afvragen of aanduidingen van grondsoorten, zoals keileem en löss, wel in de toevoegingen thuishoren. Na rijp beraad zijn deze toch daarbij gevoegd. Deze grondsoorten laten zich immers wat betreft textuur, humusgehalte en kalkgehalte normaal indelen volgens de classificatie. Om echter toch de typische löss- en keileemeigenschappen aan te duiden, wordt een toevoeging gegeven.

ANDERE KENMERKENDE EIGENSCHAPPEN

Wat betreft andere kenmerkende eigenschappen geeft het systeem vrijheid naar keuze te handelen. Waar dit nodig is, zal de kleur beschreven kunnen worden volgens de Munsell Soil Color Chart. De structuur kan bijvoorbeeld beschreven worden volgens het systeem van Jongerius (1957).

Wat betreft de consistentie kan onder andere verwezen worden naar het Soil Survey Manual (United States Department of Agriculture, 1951), waarin trouwens ook voor allerlei andere eigenschappen (stevigheid, structuur, mate van afspoeling, doorlatendheid) indelingen zijn voorgesteld.

Voor de dagelijkse karteringspraktijk ten behoeve van cultuurtechnische en civieltechnische werken blijken deze eigenschappen echter van minder belang, terwijl men bovendien een zo simpel mogelijk systeem verlangt.

Dit is dan ook de reden, dat het gegeven indelingssysteem beperkt is gebleven tot humusklassen en textuur, terwijl alle andere eigenschappen, waar nodig in de kolom "bijzonderheden" terecht komen. Uiteraard zal men voor gedetailleerde bodemkundige beschrijvingen zijn toevlucht tot één van de hierboven genoemde systemen moeten nemen.

Toepassing van het systeem

De hier gegeven veldcodering is bedoeld voor toegepaste bodemkunde ten behoeve van cultuurtechnische en civieltechnische werken.

Bestaande classificatiesystemen zijn zoveel mogelijk erin verwerkt. "Vertaling" in andere systemen is met weinig moeite mogelijk.

Het systeem is reeds gedurende een groot aantal jaren in gebruik en bevat uitstekend. Door het betrekkelijk grote aantal klassen is het eenvoudig om zo nodig vereenvoudigingen toe te passen, door voor bepaalde doeleinden een aantal klassen samen te voegen. Dit samenvoegen kan (afhankelijk van het doel) op verschillende grenzen geschieden. Dit is wenselijk omdat voor verschillende doeleinden (wegenbouw, taluds, landbouwkundige doeleinden, drainage, ophoogzand enz.) steeds verschillende fractiegrenzen van belang zijn. Het zou echter onpraktisch zijn om voor ieder afzonderlijk doel een andere indeling te ontwerpen.

VOORBEELDEN

Voorbeeld I: kleigrond

0,00 - 0,20 m L5 H3 C0	- zware zavel, zeer humeus, kalkloos
0,20 - 0,40 m L8 H1 C0	- zware klei, matig humusarm, kalkloos
0,40 - 0,80 m L6 H0 C1	- lichte klei, zeer humusarm, kalkarm
0,80 - 1,00 m L3 H0 C3	- zeer lichte zavel, zeer humusarm, kalkrijk
1,00 - 1,20 m C2 L1 H0 C3 S	- zeer fijn zand, zwak lemig, matig kleiarm, zeer humusarm, kalkrijk, met schelpen.

Voorbeeld II: zandgrond

0,00 - 0,20 m D2 H2 P	- matig fijn zand, zwak lemig, matig humeus, met puin
0,20 - 0,40 m D1 H1	- matig fijn zand, matig leemarm, matig humusarm
0,40 - 0,50 m D2 H3 I	- matig fijn zand, zwak lemig, zeer humeus, inspoelingslaag
0,50 - 0,70 m E0 H2 +I	- matig grof zand, zeer leemarm, matig humeus, verkitte inspoelingslaag
0,70 - 1,00 m E0 H0	- matig grof zand, zeer leemarm, zeer humusarm
1,00 - 1,20 m E0 H0 Y	- matig grof zand, zeer leemarm, zeer humusarm met ijzerconcreties.

Voorbeeld III: veengrond

0,00 - 0,30 m KV	- kleiig veen
0,30 - 0,60 m VA R	- veraard veen, met houtresten
0,60 - 1,00 m VC	- zeggeveen
1,00 - 1,20 m VE	- broekveen
1,20 - 1,50 m C3 H2	- zeer fijn zand, sterk lemig, matig humeus.

2.7.4. Restwaarde van verhardingsconstructies

Onder de ontwerpperiode van een weg wordt verstaan het aantal jaren dat verloopt van het moment dat het eerste verkeer op de weg wordt toegelaten tot het tijdstip waarop een nieuwe verhardingslaag moet worden aangebracht. Het aanbrengen van dunne dek-lagen of slijtlagen wordt hierbij tot het normale onderhoud gerekend.

De ontwerpperiode dient niet te worden verward met de levensduur van een weg. De ontwerpperiode, meestal 20 jaar, bepaalt het aantal te verwachten aslastpassages (de verkeersbelasting) van de weg. Op een zeker ogenblik zal de weg aan het einde van zijn levensduur komen. Indien de inschatting van de verkeersbelasting bij het ontwerp juist is geweest valt dit einde samen met het einde van de ontwerpperiode. Door het aanbrengen van de vereiste nieuwe lagen op het juiste moment kan de levensduur van een weg aanzienlijk worden verlengd, tot andere factoren (bijvoorbeeld breedte of tracé) een geheel nieuwe weg noodzakelijk maken. Ook om redenen van rijkskwaliteit of veiligheid kan een weg aan rehabilitatie toe zijn. Onder rehabilitatie worden alle werkzaamheden begrepen die nodig zijn om een oude wegverharding weer op het gewenste kwaliteitsniveau te brengen.

Door het op systematische wijze verzamelen van objectieve gegevens over de kwaliteit van de weg en gegevens omtrent onderhoudskosten kunnen beslissingen over een te treffen onderhoudsmaatregel op rationele, dat wil zeggen objectieve gronden worden genomen: het rationele wegbeheer. Gegevens die verzameld moeten worden zijn die betreffende verkeerstechnische, constructieve en kostprijsfactoren.

Voor een uitvoerige beschrijving van het systeem voor rationeel wegbeheer kan hier verwezen worden naar *Studiecentrum Wegenbouw*, 1987.

Ten aanzien van de constructieve aspecten kan de oude verharding een mindere kwaliteit hebben na verloop van tijd. Mogelijke oorzaken zijn:

- de weg is constructief gezien volgens verwachting op;
- de wegconstructie is onvoldoende gedimensioneerd;
- de functie van de weg is veranderd of zal veranderen waardoor de verkeersbelasting aanzienlijk zal toenemen;
- de deklaag is glad geworden ten gevolge van polijsting door het verkeer;
- de deklaag is door ouderdom of onvoldoende kwaliteit gaan rafelen;
- door onvoldoende stabiliteit van één of meer lagen zijn te diepe sporen opgetreden.

Voor de bepaling van de restwaarde van de weg (het nog aanwezige draagvermogen) wordt een tweetal technieken gebruikt. De eerste techniek bestaat uit het meten van de doorbuiging of deflectie van het wegooppervlak onder een bepaalde belasting. Bij de tweede techniek wordt het wegooppervlak in trilling gebracht. Uit het verloop van de deflectiekromme c.q. het verloop van de trillingen door het oppervlak kunnen de elasticiteitsmoduli worden bepaald. De meest bekende methoden zijn die met:

- de Benkelman-balk;
- de Lacroix-deflectograaf;
- de Falling-Weight-deflectometer (valgewichtmethode);
- de Dynaflect.

Voor een beschrijving van deze methoden wordt verwezen naar hoofdstuk V. 2.8.

Als de oorzaak van de opgetreden schade is vastgesteld en de restwaarde bepaald, kan de rehabilitatiemaatregel worden bekeken. Deze kunnen in 4 groepen worden onderverdeeld:

- reparaties aan het oppervlak;
- oppervlakbehandelingen;
- overlagen ter versterking van de constructie, eventueel samengaan met wegverbreding;
- gedeeltelijke of gehele vervanging van de verharding, zo nodig gepaard gaand met verbetering van de grondslag.

Een overzicht van de ter beschikking staande onderhoudsmaatregelen en de relatie onderhoudsmaatregel/schadeverschijnsel is gegeven in tabel 2.7.7.

Voor het dimensioneren van versterkingslagen zijn diverse methoden beschikbaar. Hieraan wordt in de volgende paragraaf aandacht geschonken.

Tabel 2.7.7. Relatie tussen schadeverschijnselen en in verband hiermede te kiezen onderhoudsmaatregelen (Vereniging voor Bitumineuze Werken, 1985).

Onderhouds- maatregel	Schadeverschijnsel										
	C	L/LL	D/DL	A	B	W	R	S	V	STR	F
Klein onderhoud											
- plaatselijk oppervlak dichten (oppervlakbehandeling, slem)	X	X	X	X							
- plaatselijk repareren: evt. na uitfrezen plaatselijk nieuw asfalt	X	X	X	X	X	X				X	
- plaatselijk uitvullen: geringe lengte, scheggen						X			X		
- vullen van scheuren (voeg- vulling)		X	X								
Groot onderhoud											
- oppervlakkig affrezen					X			X	X		X
- oppervlakbehandeling	X				X		X				X
- overlaging (nieuwe laag asfalt)	X			X	X	X	X	X	X	X	X
- nieuwe laag asfalt na uit- frezen oude asfaltlaag	X			X				X			
- combinatie van beide voor- gaanden (repaven)	X			X	X						X
- reconstructie (ingrijpende overlaging)										X	
- bermen afsteken						X					
C = Craquele	B = Vet worden			V = Langsvlakheid							
L/LL = Langsscheur/Langslas	W = Afwatering			STR = Structurele conditie							
D/DL = Dwarsscheur/Dwarslas	R = Toestand reparatieplek			F = Stroefheid							
A = Aantasting oppervlak	S = Rijspoordiepte										

2.7.5. Ontwerpmethoden

Naast de verkeersbelasting, de draagkracht van de ondergrond en een eventuele restwaarde zijn voor het ontwerp van de wegconstructie nog andere zaken van belang. Zo is de waterhuishoudkundige situatie in de ondergrond van groot belang voor het draagvermogen (zie ook 2.7.3). Door het graven van bermsloten en/of het aanbrengen van drainage kan de waterhuishouding in het weglichaam worden beheerst.

Daarnaast moet aandacht geschonken worden aan mogelijke vorstschade door toepassing van niet-opdooigevoelig materiaal en eveneens aan een goede waterafvoer teneinde stripping of aqua-planing te voorkomen.

Voor het ontwerpen van wegconstructies zijn er diverse methoden ontwikkeld. Genoemd kunnen worden:

- de CBR (Californian Bearing Ratio) methode; (*California Highway Department*, 1940);
- de AASHO (American Association of State Highway Officials) Road Test (*Asphalt Institute*, 1960);
- de Road Note 29 (TRRL) (third Edition) 1970 (*Transport and Road Research Laboratory*, 1965 en 1970);
- de LCPC (Laboratoire Central des Ponts et Chaussees) methode;
- Manual Series MS-1 (1981) en MS-19 (1983) van het *Asphalt Institute* (1981 en 1985);
- de Shell-design 1978 (*Shell*, 1978);
- de Grontmij-methode (*Carmichael, e.a.*, 1975 en 1976);
- de VNC-methode (*Vereniging Nederlandse Cementindustrie*, 1985-1).

Daarnaast kan op grond van eigen ervaringen worden ontworpen. Deze zijn veelal gebonden aan plaatselijke, steeds gelijke omstandigheden, zodat slechts in een beperkt gebied kan worden ontworpen.

Zowel de (CBR)-methode als de AASHO Road Test en de Road Note 29 (Third Edition) zijn methoden die ontstaan zijn door de statistische verwerking van een groot aantal ervaringscijfers verkregen onder verschillende omstandigheden van ondergrond verkeer en klimaat.

Bij de Shell Design-methode en de ontwerpgrafieken van de Manual Series MS-1 en MS-19 is, gebruik makend van gegevens van de AASHO Road Test en van laboratorium-onderzoek, een wiskundig analytische methode opgezet, waarbij de materiaalconstanten van het gebruikte asfaltmengsel, de fundering en de ondergrond, het verkeer en het klimaat, in een meerlagen rekenmodel zijn verwerkt.

Bij de LCPC-methode en de Grontmij-methode zijn de dimensioneringsberekeningen ten behoeve van versterkingslagen gebaseerd op de metingen van een bepaald apparaat. Het verband tussen de meetwaarden van diverse deflectieapparatuur is onder andere afhankelijk van ondergrond, constructieopbouw en type verharding; toepassing van een dimensioneringsmethode te zamen met een afwijkend deflectieapparaat is daarom niet zonder meer mogelijk.

De toegepaste deflectiemeetmethode bij LCPC is de Lacroix-deflectograaf en bij de Grontmij-methode de Dynaflect.

De VNC-methode is in eerste instantie opgezet voor ongewapende betonverhardingen, doch kan ook worden toegepast voor verhardingen van staalvezelbeton of van doorgaand gewapend beton. In het laatste geval dient de wapening afzonderlijk bepaald te worden.

In het navolgende zal van enkele methoden een beknopte beschrijving worden gegeven. De nadruk zal liggen op de gevoeligheid van de aangenomen waarden, op de levensduur van het ontwerp en de voor plattelandswegen toe te passen grootheden, zoals deze de laatste jaren door veelvuldige metingen zijn vastgelegd aan de hand van de Shell Design 1978-methode. Hierbij moeten twee kanttekeningen worden gemaakt.

Ten eerste dat er op grond van de uitkomsten van de berekeningen met de verschillende methoden geen voorkeur voor een bepaalde methode kan worden uitgesproken.

Ten tweede dat de mening niet mag postvatten dat het ontwerpen van wegconstructies uit het simpel aflezen van grafieken bestaat. Een gedegen kennis van de achtergronden van de diverse methoden is voor een juiste interpretatie onmisbaar.

De ontwerpmethoden zijn of empirisch bepaald of bevatten rekentechnieken met een aantal parameters.

Voor bepaalde geschematiseerde belastinggevallen en uit twee en drie lagen bestaande wegconstructies zijn door onderzoekers als Jeuffroy en Jones grafieken en tabellen gepubliceerd. Voor een aantal verhoudingen van elasticiteitsmoduli van de verschillende materialen en bepaalde constanten van Poisson kunnen met deze grafieken en tabellen de spanningen op de grensvlakken van de lagen worden bepaald.

Naast belasting en laagdikten moeten de eigenschappen van de verschillende materialen door de ontwerper als gegeven worden ingevoerd.

Na berekening van de optredende rek op de verschillende punten in de constructie moeten deze nog aan de toelaatbare waarden worden getoetst.

Naast deze rekenmethoden is er een aantal grafische ontwerpmethoden. Hierbij kunnen op grafieken voor bepaalde typen wegconstructies de laagdikten worden afgelezen, die in verband met de draagkracht van de ondergrond en de verkeersbelasting vereist zijn. Behalve voor de karakterisering van het verkeer behoeven geen verdere berekeningen te worden uitgevoerd.

Het Engelse *Transport and Road Research Laboratory* (1965) heeft een methode ontwikkeld waarbij op empirie berustende ontwerpkrommen zijn samengesteld. Deze samenstelling was gebaseerd op analyse van gedragingen van bestaande wegverhardingen die behalve de deklaag, zijn opgebouwd uit niet gebonden materialen. De eigenschappen van deze materialen worden gebaseerd op de CBR-waarde. Deze methode is bekend onder de naam Road Note 29 (uitgave 1965). Voor een uitvoeriger beschrijving kan verwezen worden naar de diverse leerboeken.

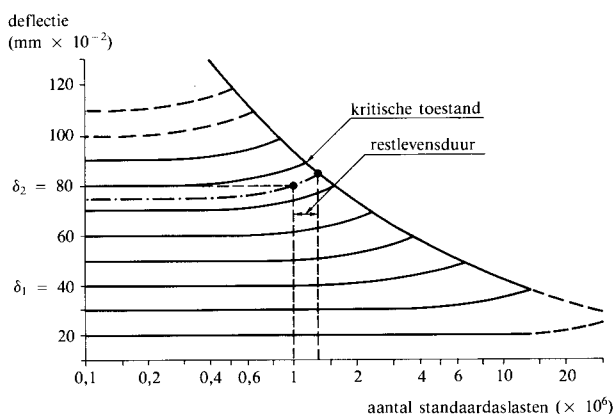
Bij de herziene Road Note 29 (Third Edition 1970) wordt uitgegaan van een flexibel drielagen systeem. Bij deze op empirie berustende rekenmethode wordt het verkeer in standaardlasten van 80 kN uitgedrukt (zie par. V. 2.7.2). De draagkracht van de onder-

grond wordt uitgedrukt in een CBR-waarde die kan worden bepaald in het terrein of aan de hand van een grondsoortindeling uit een tabel kan worden afgelezen. De constructie wordt uit drie delen opgebouwd, namelijk de zogenaamde onderfundering (zandbed) een bovenfundering (steenslag, gebonden of ongebonden) en een bitumineuze deklaag. De dikte van de onderfundering kan uit grafieken worden afgelezen waarin het verband tussen de onderfundering, draagkracht van de ondergrond (uitgedrukt in CBR-waarde) en de verkeersbelasting is aangegeven.

De onderfundering (sub-base) moet afhankelijk van het aantal lastovergangen een CBR-waarde van ten minste 20% of 30% hebben. In Nederland zal alleen een zeer draagkrachtig zandbed 20% halen. Een goed opgebouwd grindzandmengsel zal aan deze eis wel kunnen voldoen.

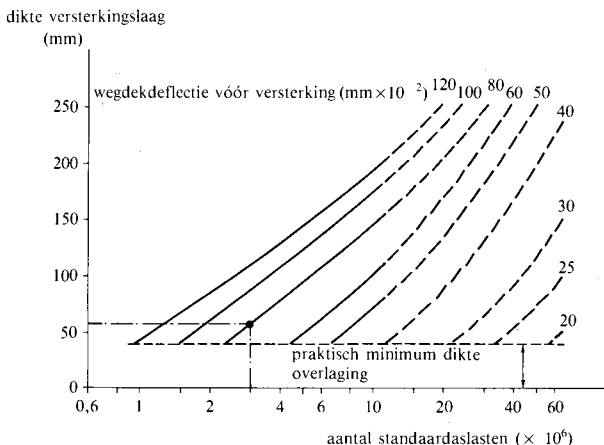
De relatie tussen de dikte van de bovenfundering, asfaltlagen en de verkeersbelasting wordt in verschillende grafieken geïllustreerd; voor groepen van funderingsmateriaal zijn afzonderlijke grafieken. Voorbeelden zijn die voor bitumineus gebonden materiaal, met cement gebonden materiaal en ongebonden granulair materiaal.

Deze methode kan ook toegepast worden voor versterkingslagen. In figuur 2.7.4 is aangegeven hoe de rest-levensduur van een weg kan worden geschat uit de met de Benkelman-balk gemeten deflectie en het aantal reeds gepasseerde standaardlasten.



Figuur 2.7.4. Het verloop van de deflectie gedurende de levensduur van een weg met butimineus gebonden fundering (Vereniging voor Bitumineuze Werken, 1985).

Is de rest-levensduur te laag dan kan met figuur 2.7.5 voor de gewenste restlevensduur de vereiste dikte van de versterkingslaag worden bepaald.



Figuur 2.7.5. De relatie tussen de dikte van de versterkingslaag, de deflectie van de verharding voor versterking en de te verwachten extra levensduur van de verhardingsconstructie (voor ongebonden en voor bitumineus gebonden funderingen) (Vereniging voor Bitumineuze Werken, 1985).

Bij de methode van het Asphalt Institute (MS-1, 1981 en MS-19, 1983) dient men het te verwachten aantal standaardaslastherhalingen (80 kN) te berekenen uit de aslastverdeling, de intensiteit, de verwachte groei van het verkeer en de ontwerp levensduur van de weg. De draagkracht van de ondergrond wordt uitgedrukt in een "resilient modulus" M_r , gemeten in een triaxiale drukproef (bij benadering ca. $10 \times \text{CBR}$).

De handleiding geeft grafieken voor verschillende dikten van funderingen van niet gebonden aggregaat, waaruit als functie van de modulus en het aantal standaardaslasten de dikten van de aan te brengen asfaltlagen zijn af te leiden.

MS-19 geeft een eenvoudige methode voor het dimensioneren van versterkingslagen.

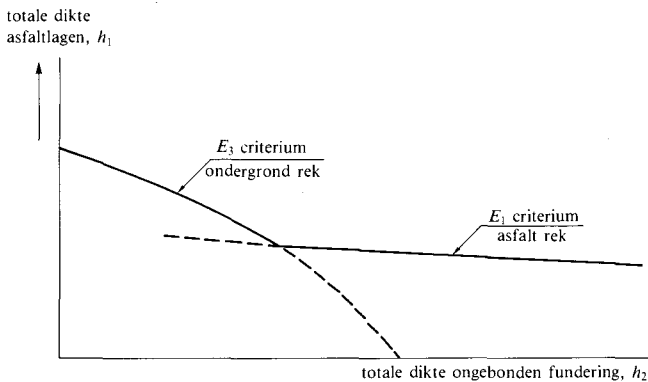
Door Shell werd in 1963 een op wiskundige grondslag gebaseerde methode uitgegeven (Shell, 1963).

De belangrijkste criteria in deze methode zijn:

- de verticale rek aan het oppervlak van de ondergrond die maatgevend is voor de permanente deformatie van de ondergrond;
- de horizontale rek in de bitumineuze deklaag met een maximum welke maatgevend is voor de scheurvorming van het asfalt (zie figuur 2.7.6).

In 1977 werd door Shell aan de bestaande rekenmethode een aantal parameters toegevoegd (Shell, 1977), namelijk:

- de invloed van de temperatuur op de stijfheid modules van het mengsel;
- de invloed van de mengselkwaliteit op het vermoeiingsgedrag;
- de gevolgen van het klimaat op de constructie.



Figuur 2.7.6. Principe van Shell-ontwerpkromme. (Vereniging van Bitumineuze Werken, 1985)

De verkeersbelasting gedurende de ontwerpperiode, wordt weergegeven door het aantal equivalente aslasterhalingen van een standaardaslast van 80 kN (zie 2.7.2 en *Transport and Road Research Laboratory*, 1965 en 1970).

Het draagvermogen van de ondergrond wordt middels te bepalen elasticiteitsmoduli (E) en de dwarscontractiecoëfficiënt (getal van Poisson) in de berekeningsmethode ingevoerd.

Is van de grondslag een CBR-waarde bekend dan kan de E -waarde worden benaderd uit: E -waarde $100 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2} = \text{ca. } 10\% \text{ CBR}$.

Het Shell Pavement Design Manual (Shell, 1978) bevat zowel rekenmodellen voor het dimensioneren op sterkte (in grafiekvorm) als voor het berekenen van de blijvende vervorming (spoorvorming).

De methode is gebaseerd op een criterium voor de rek in de asfaltlaag en de vervorming (stuik) in de ondergrond (figuur 2.7.7). De dimensionering wordt bepaald door een geschematiseerd laststelsel op meerdere lagen die een lineair elastisch karakter bezitten en zich uitstrekken over een oneindige lengte.

Bij bepaalde combinaties van de laagdikten van asfalt en steenfundering is het criterium van de ondergrond maatgevend, bij grotere dikte van de steenfundering geeft het rek criterium in het asfalt de doorslag. In de ontwerpgrafieken blijkt dit door een knik in de figuur. In figuur 2.7.8 is een voorbeeld gegeven van een Shell-ontwerpgrafiek.

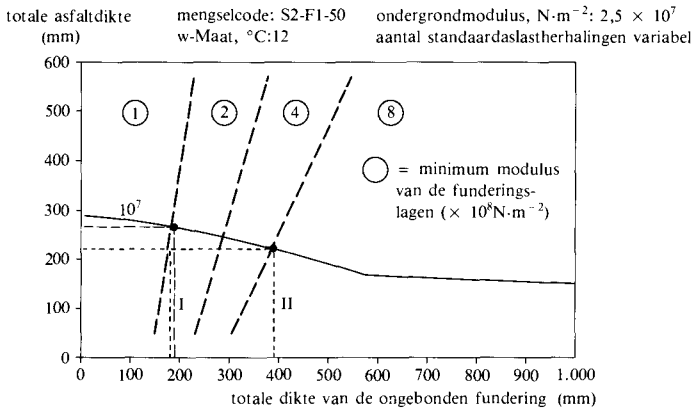
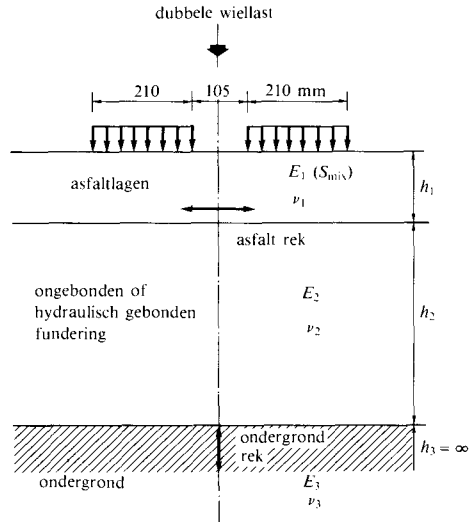
In figuur 2.7.8 zijn 2 oplossingen gegeven voor constructies op een ondergrond met een elasticiteitsmodulus $E_3 = 2,5 \cdot 10^7 \text{ N} \cdot \text{m}^{-2}$ en een verkeersbelasting van $N = 10^7 \cdot 80 \text{ kN}$. Oplossing I is met één soort granulair materiaal met $E_2 \geq 1 \cdot 10^8 \text{ N} \cdot \text{m}^{-2}$; oplossing II met twee soorten granulair materiaal, waarvan de minimum elasticiteitsmodulus respectievelijk $1 \cdot 10^8 \text{ N} \cdot \text{m}^{-2}$ en $4 \cdot 10^8 \text{ N} \cdot \text{m}^{-2}$ bedraagt. Voor het sterkte-ontwerp van de weg wordt er van uitgegaan dat de uiteindelijke levensduur afhankelijk is van:

- het aantal standaardaslastherhalingen N ;
- de stijfheidsmodulus van het asfaltmengsel;
- het vermoeiingsgedrag van het mengsel onder herhaalde belasting;
- de stijfheid van het bitumen;
- het klimaat.

In de ontwerpgrafieken varieert er van de bovengenoemde factoren telkens één.

Figuur 2.7.7. Geschematiseerd belastingmodel.

E = Elasticiteitsmodulus
 ν = dwarscontractie coëfficiënt (Poissongetal)
 S_{mix} = stijfheid mengsel



Figuur 2.7.8. Voorbeeld van een Shell-ontwerpgrafiek. (Vereniging van Bitumineuze Werken, 1985)

Uitgaande van bovengenoemde factoren zijn de belangrijkste factoren waarin inzicht noodzakelijk is om te komen tot een verantwoord ontwerp:

- de draagkracht van de ondergrond;
- de waarde in draagkracht van de funderingsmaterialen;
- de mechanische eigenschappen van de toegepaste asfaltmengsels;
- de verkeersbelasting;
- de rest-levensduur van de bestaande verharding (bij rehabilitaties).

De met deze parameters berekende constructies moeten, zoals in voorgaande al is beschreven en weergegeven in figuur 2.7.6, voldoen aan twee voorwaarden:

- de maximaal optredende trekkracht in het asfalt mag de toelaatbare trekvastheid van het materiaal niet overschrijden, daar anders scheurvorming ontstaat;
- het asfalt en de fundering moeten de door de aslasten uitgeoefende krachten zodanig spreiden dat de op de ondergrond uitgeoefende druk nergens tot ontoelaatbare vervormingen leidt.

In de Grontmij-ontwerpmethode (*Carmichael, e.a.* 1975 en 1976) worden de structurele karakteristieken van de weg bepaald uit deflectiemetingen met de Dynaflect en uit onderzoek van de bestaande constructie-opbouw in het geval van versterkingslagen.

Met deze grootheden worden met behulp van een computerprogramma in een elastisch meerlagensysteem de optredende spanningen en relatieve en absolute vervormingen berekend op iedere gewenste plaats in de constructie. In gedragsmodellen voor vermoeiing en spoorvorming wordt vervolgens de te verwachten levensduur bepaald.

Het uiteindelijke ontwerp is afhankelijk van de aard van de belasting, het gewenste kwaliteitsniveau ten aanzien van veiligheid en comfort van de weg en de structurele karakteristieken (bijvoorbeeld grondwaterstand, beschikbare materialen, etc.).

De ontwerpmethode is ook geschikt voor het ontwerpen van nieuwe constructies.

De materiaalkarakteristieken worden dan bepaald uit in de praktijk opgedane ervaringen, gecombineerd met uit laboratoriumproeven gevonden waarden.

Teneinde de gevoeligheid van de Shell-methode te bepalen voor de op plattelandswegen toepasbare ontwerpcriteria ten aanzien van verschillende aannamen, zijn in het navolgende enkele berekeningen in grafiekvorm weergegeven.

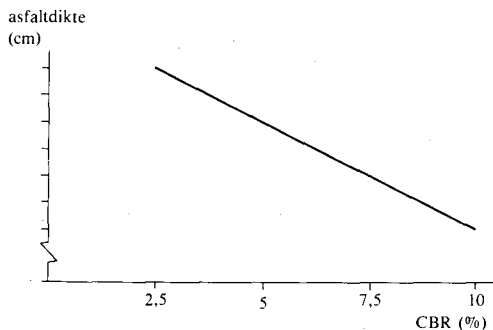
Figuur 2.7.9 geeft een globaal verband tussen de waarde van de ondergrond in % CBR en de dikte van de erbij berekende asfaltlaag bij gelijkblijvende verkeersbelasting.

Deze figuur illustreert de bijna doorslaggevende invloed van de bepaalde CBR-waarde op de constructie. Een verschil in CBR van 5 of 10% geeft een afwijking van 4 cm asfalt.

De combinatie van figuur 2.7.9 met figuur 2.7.10 maakt duidelijk wat een afwijking van enkele cm's asfalt voor de ontwerp-levensduur betekent.

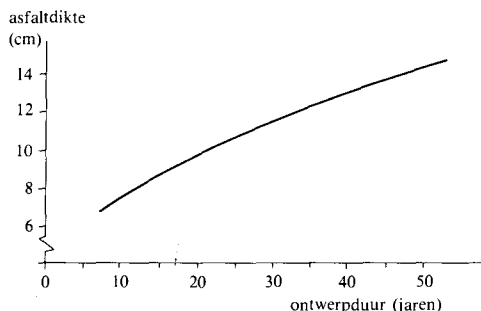
Figuur 2.7.9

Globaal verband tussen de waarde van de ondergrond in % CBR en de dikte van de asfaltlaag bij gelijkblijvende verkeersbelasting.



Figuur 2.7.10.

Globaal verband tussen de ontwerp-levensuur en de toename van de asfaltdikte bij gelijkblijvende CBR-waarde.



Aangezien de waarde van de draagkracht binnen een grondsoort sterk kan variëren en de waarde essentieel is voor een goed ontwerp, is het noodzakelijk deze door middel van beproeving te bepalen.

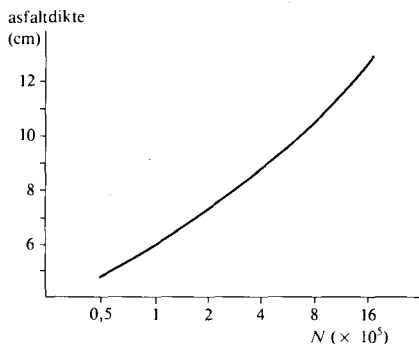
Bij rehabilitaties is het om dezelfde reden noodzakelijk de bestaande weg of fundering door middel van draagkrachtbepalingen te meten.

De conclusie ten aanzien van de draagkracht van de ondergrond geldt ook voor de verkeersbelasting.

In figuur 2.7.11 is weergegeven wat de invloed is van het aantal aslastherhalingen (N) op de benodigde asfaltdikte.

Figuur 2.7.11.

Verband tussen N -waarde en asfaltdikte bij gelijkblijvende fundering.

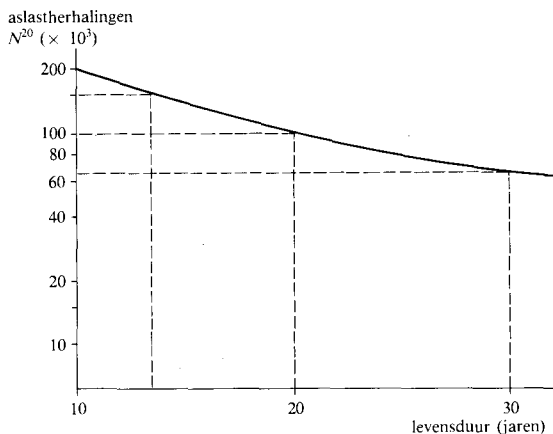


Wordt er een vergelijking gemaakt tussen een gemiddelde berekende verkeersbelasting (N^{20}) en een mogelijk werkelijk optredende belasting afgeleid uit langjarige tellingen op plattelandswegen als gevolg van de altijd optredende spreiding dan geeft figuur 2.7.12 hiervan de invloed op de levensduur.

Ook hieruit blijkt dat de gekozen N -waarde van grote invloed is op het ontwerp en dat afwijkingen van de werkelijke N -waarde ten opzichte van een veronderstelde, de werkelijke levensduur sterk beïnvloeden.

Figuur 2.7.12.

De globale invloed van de afwijking van de mogelijk optredende verkeersbelasting ten opzichte van de geschatte waarde op de levensduur.



Is bijvoorbeeld N^{20} gesteld op 100×10^3 aslastherhalingen, terwijl er werkelijk 150×10^3 optreedt, dan wordt de levensduur 13 jaar.

Indien de optredende verkeersbelasting 67×10^3 bedraagt dan is de levensduur 30 jaar. Het zal duidelijk zijn dat het voor een verantwoord ontwerp niet voldoende is uit te gaan van gemiddelde waarden, en dat tellingen beslist noodzakelijk zijn.

De mechanische eigenschappen van het toegepaste asfaltmengsel welke direct van belang zijn bij het dimensioneren zijn de stijfheid, het vermoeingsgedrag en het penetratiegetal. Deze verschillende grootheden kunnen worden bepaald uit de beproeving van het asfaltmengsel of door berekeningen vanuit de gegevens over de mengselsamenstelling. In Nederland wordt veelal vanuit de Shell-methode met een mengsel gerekend namelijk S1.F1.50.

S1 vertegenwoordigt de stijfheid van de meest gangbare dichte mengsels. Daarnaast is er S2 voor open mengsels met een hoog holle-ruimtepercentage en een laag bitumengehalte (zie figuur 2.7.8).

Naar analogie zijn er op basis van laboratoriummetingen twee karakteristieke vermoeingskrommen namelijk F1 en F2.

Verder worden er twee bitumensoorten onderscheiden 50 pen en 100 pen bij 25° , waarbij 50 pen staat voor de soorten 40/50, 40/60, 45/50 enz. en 100 pen staat voor 80/100, 85/100 enz.

De temperatuur wordt bij deze methode uitgedrukt in een gemiddelde jaartemperatuur. Hierin is het temperatuursverloop over een jaar verdisconteerd. Voor Nederland is deze berekend op 12 °C. Gaat men er toe over om op een bestaande weg een versterkingslaag aan te brengen, dan kan men in principe uitgaan van dezelfde methode als die gebruikt wordt voor nieuw aan te leggen wegen.

Is de bestaande asfaltlaag dusdanig gescheurd of gecraqueleerd dat ze niet meer kan bijdragen in de nieuwe asfaltconstructie dan zal men deze verwijderen of kunnen aanmerken als onderdeel van de fundering. De nieuw aan te brengen laagdikte wordt dan rechtstreeks berekend uit de gemeten draagkracht van het aanwezige weglichaam en de te verwachten verkeersbelasting in de ontwerperperiode.

Besluit men een weg te verbeteren, waarvoor het bestaande asfalt nog een restwaarde heeft, dan zal men de overlaag kunnen berekenen uit de gegevens van de nieuwe ontwerp-levensduur, de oorspronkelijke ontwerp-levensduur en het verkeer tot op heden. Indien men geen gegevens heeft over het oorspronkelijke ontwerp dan kunnen die worden afgeleid uit gegevens over de ondergrond, de laagdikten van de fundering en het asfalt en de gebruikte asfaltkwaliteit.

Ook is het van belang een zo goed mogelijk inzicht te verkrijgen in het reeds gepasseerde verkeer.

Omdat de ontwerpmethoden uitgaan van een nieuw materiaal en de bepalende trekkrachten optreden onderin de totale asfaltlaag, dus bij overlagen in de oude lagen, moet in de nieuwe constructie rekening worden gehouden met de vermoeiing van de oude lagen. Dit gebeurt doordat de aangenomen verkeersbelasting N_{a2} wordt omgerekend naar een fictief aantal aslasterhalingen N_{d2} , waarin het verleden van de weg is verdisconteerd.

$$N_{d2} = N_{a2} \times \frac{N_{d1}}{N_r} \quad (2.7.1)$$

waarin:

- N_{d1} = de oorspronkelijke ontwerp-levensduur in N
- N_{d2} = fictief aantal aslasterhalingen in de nieuwe ontwerperperiode
- N_{a2} = vastgestelde N in de nieuwe ontwerperperiode
- N_r = rest-levensduur = N_{d1} - reeds gepasseerd verkeer.

De dikte van de nieuwe laag is dan het verschil tussen de totale berekende laagdikte en de reeds aanwezige laag.

Daarnaast moet worden nagegaan of de aangebrachte laag dik genoeg is om de druk op de ondergrond voldoende te reduceren. Daar de waarden van de ondergrond niet in de tijd afnemen hoeft hier geen vermoeiingsgedrag te worden verrekend.

Ter controle kan nog worden nagegaan of het niet voordeliger is de bestaande verharding in zijn geheel af te schrijven, tot de fundering te rekenen en een nieuwe laag aan te brengen. Dit zal alleen het geval zijn als de bestaande laag vrijwel geen rest-levensduur meer heeft, zodat de verhouding N_{d1}/N_r groot is.

Een cementgebonden verharding behoort tot de "starre constructies". Bij een dergelijke verharding wordt de verkeersbelasting gedragen door de stijve betonplaat.

Door het grote lastspreidende vermogen van de plaat wordt de ondergrond in mindere mate belast dan bij flexibeler constructies.

De stijfheid en de sterkte van het beton spelen in de berekeningen volgens de VNC-methode (*Vereniging Nederlandse Cementindustrie*, 1985-1) een belangrijke rol.

Bij de bepaling van de vereiste verhardingsdikte worden voor het berekenen van de verkeersspanningen de formules van Westergaard gebruikt. In deze formules wordt aangenomen dat de door de grondslag geleverde tegendruk in een punt aan de onderzijde van de plaat rechtevenredig is met de zakking van de plaat in datzelfde punt.

Het draagvermogen van de ondergrond wordt uitgedrukt in een zogenaamde beddingsconstante.

Deze beddingsconstante wordt gewoonlijk bepaald met behulp van de plaatbelastingsproef. In tabel 2.7.8 is een globale indicatie gegeven van de beddingsconstante voor verschillende grondsoorten.

Tabel 2.7.8. Beddingsconstante (k) voor verschillende grondsoorten (globaal).

Grondsoort	k $10^{-2} \text{ N} \cdot \text{mm}^{-3}$
Goed-gegradeerd grind en grind/zandmengsels, met weinig of geen fijn materiaal	8 - 13
Slecht-gegradeerd grind, met weinig of geen fijn materiaal	8 - 13
Grind/zand/klei-mengsels	5 - 13
Goed-gegradeerd zand en grindig zand, met weinig of geen fijn materiaal	5 - 10
Slecht-gegradeerd zand, met weinig of geen fijn materiaal	4 - 10
Zand/klei-mengsels	3 - 8
Zeer fijn zand, leemhoudend zand	3 - 5
Vaste klei	1 - 3
Slappe klei en veen	0 - 1

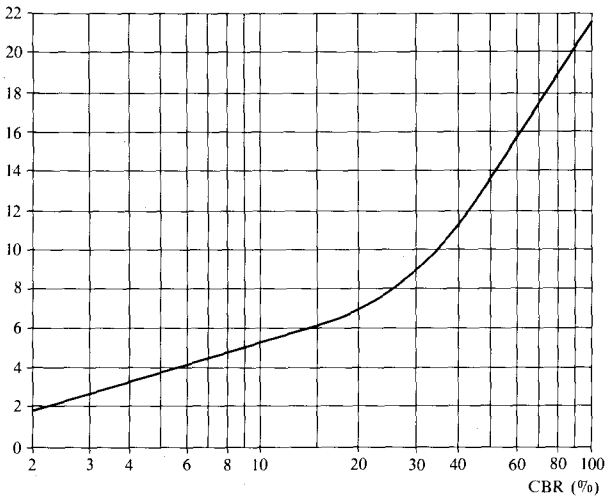
In figuur 2.7.13 is het verband aangegeven tussen de k -waarde en de CBR-waarde (*Vereniging Nederlandse Cementindustrie*, 1985-1).

Wanneer een betonverharding niet direct op de natuurlijke ondergrond maar op een funderings- of tussenlaag wordt aangelegd, wordt het draagvermogen hiervan in rekening gebracht door verhoging van de beddingsconstante van de ondergrond.

Bij de VNC-methode wordt rekening gehouden met spanningen en doorbuigingen die in de beschouwde betonplaat optreden.

Deze zijn afhankelijk van:

beddingsconstante k
 $(10^{-2} \text{ N} \cdot \text{mm}^{-3})$



Figuur 2.7.13. Het verband tussen de k -waarde en de CBR-waarde.

- het draagvermogen van de natuurlijke ondergrond en de eventuele funderings- of tussenlagen of een reeds aanwezige verhardingsconstructie;
- de verkeersbelasting (aantal, grootte en positie van de wiellasten);
- de temperatuursveranderingen in de verharding;
- de sterkte- en vervormingseigenschappen van het beton;
- de lastoverdracht in de voegen;
- de afmetingen van de plaat (lengte, breedte en dikte).

Met het zettingsgedrag wordt rekening gehouden door de plaatdikte en/of de plaatlengte hierop aan te passen.

De plaatlengte dient niet groter dan 1,2 à 1,5 maal de plaatbreedte te zijn. Naarmate er meer zetting wordt verwacht, dienen een kleinere plaatlengte en een grotere plaatdikte te worden gekozen.

Bij een gegeven plaatbreedte, die uit de verhardingsbreedte volgt, wordt vervolgens een geschikt geachte constructie gekozen. Deze constructie bestaat uit een betonverharding met eventuele funderings- of tussenlagen. Daarna worden voor elke wiellastgroep de verkeersspanningen en de daarbij door de temperatuursgradiënt veroorzaakte temperatuurspanningen berekend. Op deze wijze kan voor elke wiellastgroep, bij een bepaalde temperatuursgradiënt, het toelaatbare aantal wiellastherhalingen (N_i) worden bepaald. Met behulp van de regel van Palmgren-Miner wordt vervolgens nagegaan, of de gekozen constructie voldoet aan het sterktecriterium. Dit criterium houdt in, dat de betonplaat pas aan het einde van de ontwerp-levensduur voor de eerste maal gaat scheuren.

Wordt er niet aan dit criterium voldaan, dan moet de gekozen constructie worden aangepast. Dit kan bijvoorbeeld geschieden door wijziging van de plaatdikte en/of de plaatlengte, door het al dan niet toepassen van deuvels, door een wijziging van de betonkwaliteit of door het kiezen van een andere funderingslaag.

Als de constructie voldoet aan het sterktecriterium, moet deze nog op stijfheid beoordeeld worden. Daartoe wordt de doorbuiging bij de voegen berekend en vervolgens aan het doorbuigingscriterium getoetst. Wordt er niet aan dit criterium voldaan, dan dient de constructie (opnieuw) aangepast te worden. Dit kan bijvoorbeeld geschieden door wijziging van de fundering, door het al dan niet toepassen van deuvels of door wijziging van de plaatlengte. Ook deze mogelijkheden zijn in het stroomdiagram aangegeven.

De aldus gevonden constructie, die zowel aan het sterktecriterium als aan het stijfheidscriterium voldoet, moet ten slotte op zijn economische aspecten beoordeeld worden. Als daarbij blijkt, dat de beschouwde constructie economisch niet aantrekkelijk is, dient te worden nagegaan of een andere constructie-opbouw wellicht tot een ook economisch verantwoord ontwerp kan leiden.

Bij de VNC-methode zijn dimensioneringstabellen beschikbaar, waarmee de vereiste minimale verhardingsdikte kan worden bepaald nadat een beddingsconstante van de plaatondersteuning is vastgesteld. Een gedeelte van tabel E uit de VNC-handleiding (*Vereniging Nederlandse Cementindustrie*, 1985-1) is als voorbeeld weergegeven in tabel 2.7.9.

Tabel 2.7.9. Voorbeeld van een dimensioneringstabel uit Handleiding Betonwegen (*Vereniging Nederlandse Cementindustrie*, 1985-1).

Verhardingsdikten voor wegen met één of twee rijstroken													deel								
Betonkwaliteit: B 37 ^s Wiellasten-spectrum II: 43-34-14-6,5-2,5 in %													tabel E								
		Beddingsconstante van de plaatondersteuning in 10 ⁻² N · mm ⁻³																			
P _{max.}	ontwerp- belasting	1				2				4				8				16			
		plaatlengte (m)				plaatlengte (m)				plaatlengte (m)				plaatlengte (m)				plaatlengte (m)			
(kN)	n	3,5	4,0	4,5	5,0	3,5	4,0	4,5	5,0	3,5	4,0	4,5	5,0	3,5	4,0	4,5	5,0	3,5	4,0	4,5	5,0
50	10 ⁵	181	186	193	201	176	183	191	201	172	179	188	198	165	174	184	195	158	167	178	190
	10 ⁶	190	195	202	210	186	192	200	209	180	188	197	207	174	182	192	203	167	175	186	197
	10 ⁷					197	203	210	219	191	198	207	216	184	192	201	212	177	185	195	206
	10 ⁸									204	211	219	228	197	204	213	223	189	197	206	217
60	10 ⁵	196	201	108	216	191	198	206	215	186	193	202	212	179	187	197	208	171	180	190	202
	10 ⁶	208	212	218	226	202	208	216	224	196	203	211	221	188	196	206	217	180	189	199	210
	10 ⁷					215	220	227	236	208	214	222	232	200	207	217	227	191	199	209	220
	10 ⁸									223	228	236	245	214	221	230	240	205	212	222	233

De hiervoor gegeven beknopte omschrijving van enkele ontwerpmethoden geven een overzicht door welke factoren de constructies worden bepaald.

Met name de figuren 2.7.9 t/m 2.7.12 geven een inzicht in de gevoeligheid bij de aannahme van de verschillende grootheden op het resultaat van de berekeningen. De resultaten van de met behulp van de Shell Design 1978 uitgevoerde berekeningen zijn niet maatgevend voor deze ontwerpmethode, doch gelden voor alle methoden en zijn als voorbeeld gegeven. Duidelijk komt hierbij naar voren dat het van evident belang is een juist inzicht te hebben in de waarde van de draagkracht van de ondergrond en de verkeersbelasting en dat beide slechts door meting met voldoende nauwkeurigheid zijn vast te stellen.

Ten slotte moet nog worden opgemerkt dat de uit de berekeningen volgende asfaltdiktes theoretische minima zijn, waarbij de verkeersbelasting als een absolute grootheid is ingevoerd, geen rekening is gehouden met variatie van de ondergrond over de lengte van de weg en ook geen tolerantie is aangehouden voor onregelmatigheden bij de uitvoering. Daar is gebleken dat kleine afwijkingen van de asfaltdikte de levensduur van de weg sterk beïnvloeden, is het aan te bevelen de berekende uitkomsten met minimaal één cm te verhogen. Hiermede kan worden voorkomen dat door relatief kleine afwijkingen van de aangenomen waarden ten opzichte van de werkelijkheid, in korte tijd grote schade aan het wegdek zal ontstaan.

2.7.6. Materialen en constructies

De in Nederland in voldoende mate beschikbare natuurlijke materialen zijn vrijwel uitsluitend zand en grind (al of niet gebroken). Beide materialen worden dan ook in de meeste wegconstructies gebruikt, zoals bijvoorbeeld in zandbedden, asfaltverhardingen en cementbetonverhardingen.

Een groot gedeelte van de overige wegenbouwmaterialen moet uit het buitenland worden geïmporteerd.

De kwaliteitseisen die aan de materialen worden gesteld, dienen in overeenstemming te zijn met de omstandigheden waaronder ze worden toegepast. Als keuringseisen worden gehanteerd de in hoofdstuk 31 van de Standaard RAW-bepalingen, afgekort "Standaard 1985", weergegeven technische bepalingen alsmede de daarop uitgegeven aanvulling in de Standaardbepalingen Verhardingslagen, afgekort "SBV 1987". (Stichting RAW, 1985 en 1987).

Naast de natuurlijke materialen vindt de toepassing van alternatieve bouwstoffen steeds meer opgang. Hierbij valt te denken aan bijvoorbeeld hergebruik van opgebroken asfalt, beton- en metselwerkpuin als funderingsmateriaal of toeslag in beton, mijnsteen, slakken, vliegassen in vulstof en vuilverbrandingsslakken. Voor deze stoffen worden of zijn keuring, certificering en normering onderwerp van velerlei overleg.

Voor een overzicht van de stand van zaken medio 1984 wordt verwezen naar: *Gerardu en Hendriks*, 1983. Een tussenstand van 1980, gericht op de wegenbouw, is gegeven in *Studiecentrum Wegenbouw*, 1980.

De keuze van de materialen is afhankelijk van beschikbaarheid, levertijd, sterkte en kostprijs. Van belang zijn vooral die materialen waarmee de meest economische verhardingsconstructie kan worden gemaakt. Hiertoe zullen veelal een aantal verhardingstypen met elkaar moeten worden vergeleken om zo te kunnen bepalen welk verhardingstype onder de gegeven omstandigheden daaraan voldoet.

Dit betekent niet dat alleen moet worden gezocht naar de verhardingsconstructie die het goedkoopst in aanleg is. Evenzo bepalend zijn onderhoudskosten voor de wegbeheerder (inclusief kosten van eventuele wegomleggingen ten behoeve van dat onderhoud) en de kosten voor de weggebruiker. Bij een goed onderhouden weg zullen de laatste kosten in het algemeen lager zijn dan bij een weg waarvan het onderhoud verwaarloosd is.

Materialen voor funderingen

Als eerste, en in Nederland voor de hand liggend materiaal kan het zand worden genoemd. Het zandbed wordt niet alleen als versterking van de ondergrond aangebracht, maar ook om de vorstgevoeligheid van de weg te verminderen en de waterhuishouding van de weg te regelen. Het draagvermogen wordt bij zand sterk beïnvloed door de mate van verdichting. Dit draagvermogen kan met behulp van de CBR-proef worden bepaald (zie hoofdstuk V. 2.8).

De toepassing van een fundering van andere ongebonden materialen vindt vooral plaats indien op een niet voldoende draagkrachtige ondergrond een asfaltconstructie moet worden toegepast. Ook kan de toepassing plaatsvinden bij zeer slappe ondergrond als veen, ter vervanging van het zandbed.

De materialen worden in de weg gestort, gespreid en daarna afgewalst of afgetrild. Genoemd kunnen worden:

- Hoogoven- en staalslakken

Deze slakken ontstaan als residu bij de ruwijzer- en staalproductie. Door breken en eventueel afzeven worden deze slakken geschikt gemaakt voor verwerking in wegverhardingen.

De bij de productie van ruwijzer vrijkomende slak, de hoogovenslak, wordt in de gradering 0/40 mm veel toegepast voor wegfunderingen in gebieden met een weinig draagkrachtige ondergrond. Er ontstaat een zekere plaatwerking ten gevolge van de gradering, de haakweerstand en een hydraulische binding van het materiaal.

Deze plaatwerking kan onder bepaalde omstandigheden zo groot worden dat, evenals bij funderingen van schrale beton, scheuren ten gevolge van krimp en van temperatuurswisselingen kunnen ontstaan.

- Schuimslakken

Dit zijn gedeeltelijk gegranuleerde hoogovenslakken met afmetingen van 0-300 mm. Het lage verdichte volumegewicht op het maaiveld van ca. $1.400 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ en in slootaanvullingen van ca. $1.000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ maakt het aantrekkelijk dit materiaal toe te passen in gebieden met een weinig draagkrachtige ondergrond.

- *Rode mijnsteen*

De mijnsteen is een afvalprodukt van de steenkolenmijnen dat vrijkomt nadat steenkool en kolenstof zijn verwijderd. Door achterblijven van koolstof en zwavel in de mijnsteen kan in een mijnsteen berg spontane verbranding optreden.

Hierdoor ontstaat de rode (gebrande) mijnsteen. Na te zijn gebroken in steenbrekers ontstaat een hoekig produkt. De rode mijnsteen kan gesorteerd en ongesorteerd worden geleverd. Het materiaal is matig geschikt voor tijdelijke verhardingen, erfverhardingen en verhardingen van parkeerplaatsen. De ongebrande (zwarte) mijnsteen is niet geschikt om als verhardingsmateriaal te worden gebruikt.

- *Stol*

Stol (berggrind) is een natuurlijk mengsel van zand en grind al of niet vermengd met leem, dat hoofdzakelijk wordt aangetroffen in Limburg en daar ook het meest wordt toegepast.

De sterkte van het materiaal is geheel afhankelijk van de korrelopbouw en kan dan ook van plaats tot plaats sterk verschillen. Behalve als funderingsmateriaal wordt stol ook gebruikt als materiaal voor semi-verharde wegen.

- *Lava*

Lava is een natuurlijk eruptief gesteente, dat onder andere in het Eifelgebergte in Duitsland voorkomt. Het materiaal heeft een grote haakweerstand. Aangezien de weerstand tegen verbrijzeling soms matig is, wordt de fundering verdicht door middel van trilplaten in plaats van walsen.

De lavasteen kan gesorteerd worden geleverd.

- *Beton- en baksteenpuin*

De toepassing van betonpuin als steenfunderingsmateriaal vindt steeds meer opgang. Op grond van praktijk- en laboratoriumonderzoek zijn concept-eisen en besteksbepalingen geformuleerd. Gesteld kan worden dat betonpuin een technisch en economisch aantrekkelijk funderingsmateriaal is voor alle categorieën wegen (*Gerardu en Hendriks*, 1983). Het onderzoek naar de toepassing van baksteenpuin (straatklinkers, metselwerkpuin) is nog volop gaande. In technisch opzicht ziet het er naar uit dat toepassing slechts verantwoord is tot een nader aan te duiden maximale verkeersbelasting.

- *Fosforslakken*

Fosforslakken komen in Nederland voornamelijk van de Hoechst-fabriek in Zeeland en worden in combinatie met hoogovenslakken (zand), toegepast als wegfunderingsmateriaal.

Naast de ongebonden funderingen kan een fundering worden gemaakt van een gebonden materiaal.

- *Schraal beton*

Beton met 75-125 kg cement per m³ zand en grove toeslagmateriaal in een massaverhouding tussen 1:1 en 1:3, wordt toegepast als funderingsmateriaal.

Het materiaal wordt met vrachtwagens aangevoerd, met bulldozers gespreid en daarna afgewalst.

De scheuren ten gevolge van krimp en temperatuurswisselingen welke zich in dit materiaal, evenals in de hierna te behandelen zandcementstabilisatie, kunnen voordoen, zetten zich gewoonlijk door in dunne deklagen, die op deze funderingen worden aangebracht.

- Stabilisaties van zandbedden

Ter verhoging van de stabiliteit (draagvermogen) van het zandbed kan het zand worden gestabiliseerd door verdichting (mechanische stabilisatie), door verbetering van de korrelopbouw en/of door toevoeging van een bindmiddel. Verbetering van de korrelopbouw (fysische stabilisatie) kan geschieden door toevoeging van niet-vorstgevoelige materialen, zoals brekerzand, slakkenzand, glasas, en dergelijke.

Door toevoeging van een bindmiddel wordt de cohesie van het zand verhoogd, terwijl een eenmaal verkregen verdichting kan worden gehandhaafd (chemische stabilisatie). Hierbij worden chemisch actieve stoffen als hydraulisch slakkenzand of cement bijgevoegd.

- Cementstabilisatie

Door toevoeging van cement kan de stabiliteit van zanden worden verhoogd.

Daartoe wordt het zand gemengd met cement en water en daarna goed verdicht. Om goede resultaten te kunnen bereiken mag in het zand praktisch geen humus voorkomen en mag het water geen schadelijke stoffen bevatten, zoals bijvoorbeeld veenzuren. De bovenste 0,50 tot 1,00 m van een zandontgraving en slootwater uit veengebieden zijn dan ook meestal niet geschikt om te worden gebruikt voor stabilisatie met cement. Aangezien ook zout een minder gunstige invloed heeft op de verharding van cement is het gebruik van ongewassen zeezand niet aan te bevelen. Afhankelijk van de korrelverdeling van het zand worden 7-11 gewichtsprocenten cement toegevoegd.

Het zand-cementmengsel kan vooraf in een menginstallatie worden gemengd en naar de weg worden gebracht (mixed in plant), doch in Nederland wordt de stabilisatie meestal met stabilisatiemachines (mixed in place) in de weg vervaardigd.

Bij toepassing van de zandcementstabilisatie moet men erop verdacht zijn dat de veel optredende krimp-scheuren in de stabilisatie zich vaak doorzetten in de relatief dunne asfaltdekken op plattelandswegen.

- Bitumenstabilisatie

De stabiliteit van zanden kan ook worden verhoogd door toevoeging van een bitumineus bindmiddel zoals teerbitumen of asfaltbitumenemulsie. Het stabiliseren van zand met bitumen vindt in Nederland nauwelijks toepassing.

Materialen voor verhardingen

Voor verhardingen kunnen 3 hoofdtypen worden onderscheiden, te weten:

- elementenverharding;
- bitumineuze verharding;
- betonverharding.

Bij de keuze tussen de verschillende verhardingsmaterialen kunnen naast technische en economische eisen ook landschappelijke overwegingen een rol spelen of van doorslaggevende betekenis zijn.

Elementenverharding

Op diverse plaatsen wordt nog steeds als typisch Nederlandse verhardingsconstructie de bestrating met gebakken straatklinkers of met betonstraatstenen toegepast.

Vanwege het prijsverschil worden hiervoor veelal betonstenen gebruikt, maar uit land-schappelijke overwegingen kunnen gebakken klinkers de voorkeur verdienen.

Hiervoor worden veelal dik formaat klinkers gebruikt.

Een absolute vereiste bij klinkerbestratingen is, dat de zandbaan zeer stabiel is, of wordt gemaakt door middel van toevoegingen aan het straatzand.

Voor drukkere plattelandswegen is dat niet voldoende en dient op het zandbed een funde-ring te worden aangebracht met daarop een gestabiliseerde dunne laag straatzand, waarin de klinkers kunnen worden gestraat.

Bij een bestrating van rechthoekige stenen is een kantopsluiting noodzakelijk; bij een bestrating van profielstenen kan deze achterwege blijven.

Er zijn bestratingsmachines in gebruik, waarbij de stenen machinaal worden gevlijd op een vooraf vlak afgewerkt zandbed. Ze worden echter weinig toegepast.

Bitumineuze verharding

Bij deze flexibele verharding kan onderscheid gemaakt worden naar de gebruikte compo-nenten, de aard van het asfalt en van het bindmiddel.

In tabel 2.7.10 zijn de benamingen vermeld van wegenbouwmengsels.

Tabel 2.7.10. Benamingen van wegenbouwmengsels.

Warm asfalt	Koud asfalt	Teermengsels
dicht asfaltbeton	emulsiebeton	teerbeton
open asfaltbeton	koudasfalt	grindteerbeton
grind- en steenslagasfaltbeton		grindzandteer
zeer open asfalt		
mastiek asfalt		
Hot Rolled Asphalt		
zandasfalt		
gietasfalt en strijkasfalt		
asfaltsteenslag		

- Warm asfalt

In de Standaard 1985 worden de benamingen: zeer fijn dicht-, fijn dicht- en grof dicht asfaltbeton niet meer gebruikt, evenmin als het vroeger voor plattelandswegen toege-paste grindzandasfalt. Voor dit grindzandasfalt is het grindasfaltbeton in de plaats geko-men. De verschillende mengselsoorten worden ingedeeld naar kenmerken als de maxi-mumkorrelafmeting, het soort zand of het percentage grind of steenslag (> 2 mm). Tabel 2.7.11 geeft de indeling met de benamingskenmerken.

Tabel 2.7.11. Benaming van asfalt volgens de Standaard 1985 (*Stichting RAW*, 1985)

Naam	Kenmerk	
zandasfalt		
grindasfaltbeton		
soort 43	percentage grind 43	
soort 50	(> 2 mm)	50
soort 57	(% m/m)	57
soort 65		65
open asfaltbeton		
0/16 type 1 of type 2	max. korrelafmeting 16 mm	percentage steenslag
0/22 type 1 of type 2	max. korrelafmeting 22 mm	(> 2 mm) 67 of 72
dicht asfaltbeton		
0/6 type A of type B	max. korrelafmeting 6 mm	zand A of zand B
0/8 type A of type B	max. korrelafmeting 8 mm	zand A of zand B
0/11 type A of type B	max. korrelafmeting 11 mm	zand A of zand B
0/16 type A of type B	max. korrelafmeting 16 mm	zand A of zand B
0/16 type C	max. korrelafmeting 16 mm	percentage steenslag 60

Het warm asfalt wordt in een asfaltmenginstallatie bereid, waarbij bitumen, verhit tot mengviscositeit, aan het gedroogde mineraal aggregaat wordt toegevoegd. Wat toepassing betreft neemt het de belangrijkste plaats in.

In koud asfalt wordt het bindmiddel in de vorm van emulsie of een vloeibitumen toegevoegd. In het eerste geval wordt de benaming emulsiebeton gebruikt, in het laatste heet het materiaal koudasfalt.

Asfaltbeton is een continue gegradeerd mengsel van steenslag, zand, vulstof en bitumen, met een nagenoeg gehele of gedeeltelijke poriënvulling. In het eerste geval is er sprake van dicht asfaltbeton, in het tweede geval van open asfaltbeton. Open asfaltbeton wordt toegepast als tussenlaag (binder) tussen de deklaag en de fundering of als deklaag daar waar grote stroefheid is vereist. De levensduur als deklaag is over het algemeen geringer dan van dicht asfaltbeton. Door het hogere holle ruimtepercentage en lagen bitumengehalte vindt bij het aanbrengen van de volgende laag of lager een goede aanhechting plaats.

Grind- en steenslagasfaltbeton zijn mengsels van grind of steenslag, zand, vulstof en bitumen. Hierbij zijn de aan de korrelverdeling gestelde eisen minder streng dan bij asfaltbeton. De vulstof en bitumengehalten zijn doorgaans lager.

Op vele plattelandswegen wordt grindasfaltbeton in één of meer lagen aangebracht, waarbij de bovenste laag veelal dienst doet als deklaag.

Volgens de Standaard 1985 moet de samenstelling van het in het werk te brengen grindasfaltbeton van de bij het vooronderzoek gekozen samenstelling zijn.

Afhankelijk van het percentage grind of steenslag (> 2 mm) wordt toegepast GAB 43 (alleen voor verkeersklasse 1), GAB 50, 57 of 65.

De lagen worden aangebracht met een asfaltafwerkmachine en door middel van walsen verdicht. Om een goede gelijkmatige dikte te verkrijgen moet de ondergrond zo stabiel zijn, dat de vrachtauto's en de afwerkmachine niet kunnen verzakken.

Gezien het vrij grote percentage holle ruimte van grindasfaltbeton wordt de deklaag voorzien van een dichtingslaag (oppervlaktebehandeling).

Zeer open asfalt is een mengsel van steenslag, zand, vulstof en bitumen, dat discontinu is gegradeerd waardoor een hoge holle ruimte wordt bereikt (15-25%). Door het hoge gehalte gebroken materiaal > 2 mm wordt een zeer sterk korrelskelet verkregen waardoor het mengsel een zeer hoge weerstand tegen blijvende vervorming heeft. Omdat de gradering niet continu is behoort dit mengsel dus niet tot de groep "asfaltbeton". Het wordt toegepast als drainerende deklaag.

Mastiekasfalt is even als zeer open asfalt discontinu gegradeerd met eveneens een hoog gehalte gebroken materiaal > 2 mm.

De holle ruimte wordt nu echter vrijwel geheel gevuld met mastiek (een mengsel van zand, vulstof en bitumen). Hierdoor wordt een hoogstabiel deklaagmengsel verkregen met een hoge duurzaamheid. Dit type mengsel, dat in de laatste 15 jaar in Duitsland is ontwikkeld, verkeert in Nederland nog in het proefvakstadium.

Hot Rolled Asphalt is een uit Engeland afkomstig asfaltmengsel, bestemd voor deklagen. Het is een asfaltmengsel met een laag gehalte > 2 mm (circa 35%), dat tijdens de uitvoering met grote vooromhulde steenslag wordt afgestrooid. Deze steenslag wordt in het nog warme asfalt ingewalst.

Het grote specifieke oppervlak van het aggregaat (veel fijn materiaal) laat een hoog bitumengehalte toe, waardoor een hoge duurzaamheid wordt verkregen. De afstrooisteen-slag zorgt voor een voldoende grove textuur (stroefheid). Vanwege de relatief hoge prijs is dit mengsel in Nederland niet voorbij het proefvakstadium gekomen.

Zandasfalt is een mengsel van zand, vulstof en bitumen, dat niet op gradering of poriënvulling is gegrond. Het materiaal wordt gebruikt als stabilisatie- of funderingsmateriaal.

Gietasfalt is een mengsel van grind of steenslag, zand, vulstof en bitumen, dat op een overvulling van de poriën is gegrond. Het wordt in hete toestand gebruikt als gietbare voegvulling tussen stortsteen in de waterbouw en als materiaal voor deklagen, vooral op de Duitse Autobahnen. Soortgelijk materiaal, met handgereedschap uitgestreken, wordt strijkasfalt genoemd.

Asfaltsteenslag is een mengsel van steenslag, enige vulstof en bitumen. Dit mengsel, dat niet op poriënvulling is gebaseerd, wordt bij uitzondering als binder of deklaag gebruikt.

- Koud asfalt

Indien zetting van het weglichaam of blijvend hoge deflectie wordt verwacht, verdient het naast de toepassing van vooromhulde steenslaglagen eveneens overweging de laag of lagen grindasfaltbeton te vervangen door warm bereid koud asfalt. Door de aanvankelijk grote plasticiteit van dit materiaal kan scheurvorming in de bitumineuze lagen worden beperkt.

In koud asfalt wordt het bindmiddel in de vorm van een emulsie of in de vorm van een vloeibitumen toegevoegd.

In het eerste geval wordt er koud gemengd en verwerkt en wordt het eindresultaat emulsiebeton genoemd. Deze koud asfalt wordt als zodanig weinig toegepast. Wel kunnen aange-taste oppervlakken (mortelverlies, begon craquelé) worden verbeterd met slem; eigenlijk een fijn dicht emulsiebeton met brekerzand en steenslag (2/6 of 2/8).

In het tweede geval wordt er half warm gemengd en heet het materiaal koudasfalt.

Het in de droogtrommel van de asfaltmenginstallatie gedroogde en verhitte mineraal wordt in een koeltrommel gekoeld tot de mengtemperatuur van vloeibitumen (80-100 °C). Koudasfalt wordt veel gebruikt voor reparatiewerk of daar waar zettingen worden verwacht. De plasticiteit van koudasfalt is groot direct na aanleg en neemt af door verdamping van de "fluxolie", welke mogelijk is door het relatief grote percentage holle ruimte. De vereiste aanvangsweerstand tegen vervorming door de verkeersbelasting moet door het korrelskelet worden geleverd. Om deze reden wordt uitsluitend gebroken mineraal toegepast.

Koudasfalt worden dikwijls onder een merknaam in de handel gebracht.

- Teermengsels

De omschrijvingen van de mengsels teerbeton, grindteerbeton en grindzandteer zijn onder vervanging van bitumen door teer gelijk aan die voor asfaltbeton, grindasfaltbeton en grindzandasfalt.

Teermengsels worden in Nederland weinig toegepast. Vanwege de bestandheid van teer tegen verweking door minerale olie, worden ze wel voor parkeerterreinen en busstations gebruikt.

Voor mengsels waarin teerbitumen als bindmiddel wordt gebruikt, geldt hetzelfde als voor de teermengsels is vermeld.

- Andere bitumineuze constructies

In gevallen waar nog enige zetting van het weglichaam is te verwachten wordt vaak een spreidlaag van hoekig materiaal, dik 0,03 à 0,05 m aangebracht, welke na inwalsen wordt gepenetreerd met asfaltbitumen en afgedekt met een oppervlakbehandeling. Als de grootste zettingen achter de rug zijn wordt hier overheen, afhankelijk van de verkeersintensiteit, een enkele of dubbele slijtlaag of een deklaag van grindasfaltbeton aangebracht. De kwaliteit van de penetratielaag is naast de vakmanschap van de aannemer sterk afhankelijk van het weer.

Om deze reden worden tegenwoordig ook molengemengde mengsels van vooromhulde steenslag toegepast waarvan de kwaliteit beter beheerst kan worden en die met de spreidmachine gelijkmatig verdeeld kunnen worden.

De dichtingslaag of slijtlaag is een oppervlakbehandeling. Hieronder wordt verstaan het aanbrengen van een of twee lagen steenmateriaal, elk ter dikte van een korrel, op het wegoppervlak. De korrels worden met een bitumineus bindmiddel op de verharding gekit. De oppervlakbehandeling verbetert de weerstand tegen beschadiging door het verkeer en verhoogt de stroefheid, terwijl het de verharding tegen klimatologische invloeden beschermt. De bij oppervlakbehandelingen toegepaste bindmiddelen zijn bitumen, wegenteer, teerbitumen en bitumenemulsie.

De viscositeit van de eerste drie, heet te versproeien bindmiddelen wordt bepaald door het jaargetijde. Hiervoor worden in de Standaard 1985 globale richtlijnen weergegeven.

Vloeibitumen moeten op een vochtig wegdek of bij kans op vochtig weer niet worden gebruikt. De andere bindmiddelen zijn voor enig vocht minder gevoelig.

Het afdek materiaal moet voldoen aan eisen die ten aanzien van de weerstand tegen verbrijzeling, polijstgetal, korrelverdeling, korrelvorm en kleur zijn gesteld. De korrelafmetingen worden bepaald door de ondergrond, de verkeersintensiteit en de gewenste oppervlakte textuur.

De hoeveelheid bindmiddel moet de holle ruimte aan het oppervlak vullen en een kleeflaag vormen, terwijl tevens de holle ruimte tussen de steenkorrels voor ongeveer tweederde deel moet worden opgevuld. Daarnaast wordt de hoeveelheid beïnvloed door de verkeersintensiteit, de wegsituatie, de weersgesteldheid en het jaargetijde.

Naast een enkelvoudige kan een dubbele oppervlakbehandeling worden toegepast: een dubbele cyclus van sproeien van het bindmiddel en strooien van de steenslag. Eerst het grove en in de tweede cyclus het fijne steenslag; tussendoor kan er worden afgewalst. Ook kan er na sproeien en strooien van het grove materiaal worden nagestrooid met een fijne steenslag: de nagestrooide oppervlakbehandeling.

Bij een slemlaag is er sprake van een gietbaar mengsel van zand, vulstof en bitumenemulsie, dat ter dikte van enige millimeters wordt aangebracht.

Voor een verdere beschrijving van oppervlakbehandelingen, toe te passen hoeveelheden, soorten etc. kan verwezen worden naar mededeling 50, "Oppervlakbehandelingen" (*Studiecentrum Wegenbouw*, 1980).

- *Betonverharding*

Bij wegen met een draagkrachtige ondergrond verdient de toepassing van dit type verharding nadere overweging.

Door toepassing van een betonafwerkmachine met glijdende bekisting kan de cementbetonverharding ook voor plattelandswegen concurrerend worden toegepast. Daarbij spelen ook de relatief lage onderhoudskosten een rol. Toepassing voor bedrijfswegen, toegangswegen naar boerderijen en erfverhardingen is eveneens goed mogelijk.

Voor constructies, ontwerp, uitvoering en dergelijke kan verwezen worden naar de "Handleiding Betonwegen" (*Vereniging Nederlandse Cementindustrie*, 1985-1) en de brochure "Betonverhardingen voor de landbouw", (*Vereniging Nederlandse Cementindustrie*, 1985-2).

2.8. Onderzoeksmethoden

Voor de in de hoofdstukken V. 2.6 en V. 2.7 besproken constructies c.q. te nemen rehabilitatiemaatregelen zijn zowel ten aanzien van ontwerp als aanleg diverse onderzoeksmethoden beschikbaar.

In het navolgende zijn enkele bij plattelandswegen gebruikelijke onderzoeksmethoden beschreven. Veelvuldig zal voor de omschrijving en de uitvoering van laboratoriumproeven verwezen worden naar de Standaard 1985 en de daarop uitgegeven aanvullingen SBV 1987 (*Stichting RAW*, 1985 en 1987) door middel van het noemen van de betreffende proef.

2.8.1. Onderzoek aan aardebaan, zandbed en fundering

Zeefanalyse

Deze proef geeft inzicht in de gradering van gronden, maar wordt ook gebruikt bij de analyse van het mineraal aggregaat van bijvoorbeeld warm bereide asfaltmengsels.

De zeefproef wordt uitgevoerd volgens de SBV 1987 (proef 6.0.).

Dichtheid van aardebaan- of funderingsmateriaal in situ

Het volume van het materiaal in situ kan bepaald worden met de volgende methoden.

- C.M.C.-methode (proef 4.1.)

Deze methode berust erop dat natrium carboxy methyl cellulose (afk. C.M.C.) te zamen met bepaalde zouten een waterdicht vlies kan vormen. Als zout wordt gewoonlijk een oplossing van aluminiumsulfaat genomen. De uitvoering geschiedt door op de meetplaats een putje (doorsnede 20 cm) te graven, waarbij het uitgekomen materiaal wordt bewaard en later wordt gewogen.

De binnenwand van het putje wordt bevochtigd door bespuiting met een oplossing van aluminiumsulfaat. Hierna laat men uit een cilinder een tevoren gemeten hoeveelheid C.M.C.-oplossing in het putje lopen tot dit geheel is gevuld. De overgebleven C.M.C.-oplossing wordt gemeten en het verschil geeft de inhoud van het putje. Daarna kan de Proctor-dichtheid worden bepaald.

Deze methode is bruikbaar voor materialen, die in verdichte toestand geen grote poriën bevatten, zoals zand (ook grindhoudend zand) of onverhard zandcement. Alleen bij grofkorrelig materiaal met zeer grote poriën is het niet mogelijk een waterdicht vlies te vormen. De dichtheid van een fundering van hydraulische slakken 0/40 kan echter nog worden gemeten.

- Kunststoffoliemethode (proef 4.2.)

Bij deze proef wordt een putje als bij de C.M.C.-methode gegraven (diameter 30 cm). Hierna wordt het gegraven gat bekleed met kunststoffolie, waarbij het insluiten van lucht dient te worden vermeden, en wordt in plaats van de C.M.C.-oplossing water gebruikt.

Voor en na het laten inlopen van het water wordt op de maatcilinder het vloeistofniveau afgelezen, waarmee de inhoud van het putje bekend is. Hoe onregelmatiger de vorm van het gat is, hoe onnauwkeuriger de uitslag.

Deze methode is, met de zandmethode, vooral geschikt voor materialen met grote poriën, zoals sommige steenmengsels.

- *Zandmethode (proef 4.3.)*

Voor deze methode wordt verwezen naar de British Standard B.S. 1377 : 1975, 4-4, Test 15 (A) en (B). De methode berust op hetzelfde principe als de C.M.C.-methode en de kunststoffoliemethode.

- *Steekringmethode (proef 4.4.)*

Bij deze methode wordt een steekring via een geleidebuis gelijkmatig in het materiaal gedrukt of getikt. De inhoud van de ring, waarvan het volume bekend is, wordt gewogen en het volumegewicht van het vochtig materiaal berekend.

Na de bepaling van het vochtgehalte kan de droge dichtheid worden bepaald, die wordt vergeleken met de in het laboratorium gevonden maximum dichtheid of Proctor-dichtheid.

Deze proef is bruikbaar in enigszins samenhangend materiaal, dat echter geen grove korrels (grind en dergelijke) mag bevatten, daar anders de snijrand van de steekring wordt beschadigd.

Nadat het volume van het materiaal in situ is bepaald, alsmede het vochtgehalte, kan de dichtheid van het materiaal worden bepaald. Het verband tussen het vochtgehalte en dichtheid wordt bepaald met de Proctorproef (proef 5). Deze proef dient om de maximum dichtheid en het optimale vochtgehalte te bepalen bij een bepaalde verdichtingsenergie. Het vochtgehalte wordt bepaald met behulp van een droogstoof, waarbij droging geschiedt bij 110 °C gedurende ten minste 12 uur (klei en zandcement bij 60 °C). Dit kan zowel geschieden aan het totale materiaal dat vrijkomt bij de volumemetingen als aan een representatief deel ervan.

Ter bepaling van de dichtheid kan voor en tijdens het aanbrengen van wegverhardingen ter controle van de vastheid van het zandbed en de ondergrond het handsondeerapparaat worden gebruikt.

De dichtheid van het materiaal kan eveneens worden bepaald zonder het te verwijderen; namelijk volgens een nucleaire methode. Deze methode is veel sneller als alle andere methoden. Voor deze proefbeschrijving wordt verwezen naar de Amerikaanse normen ASTM D 2922-71 en D 3017-72.

Draagvermogen van aardebaan- of funderingsmateriaal

- CBR-proef (proef 12.0.)

Met de CBR-proef als maat voor de draagkracht van de ondergrond is veel ervaring opgedaan. Deze waarde wordt dan ook in veel dimensioneringsmethoden als maatstaf gebruikt. De proef kan zowel in het veld als in het laboratorium worden uitgevoerd. Voor de beschrijving van de laboratoriumproef wordt verwezen naar de Standaard 1985. Een stempel met een diameter van 2 inch (= 50,8 mm) wordt met een snelheid van 1,27 mm per minuut in een proefstuk van het te onderzoeken materiaal gedrukt. De druk, nodig om de stempel een indringing van 2,54 mm te geven, wordt vergeleken met de druk, die nodig is om dezelfde indringing in een standaardmonster van gebroken steen te verkrijgen. De verhouding van beide drukken uitgedrukt in procenten van de laatstgenoemde is de CBR-waarde.

De dichtheid en het vochtgehalte van het materiaal zijn van grote invloed op de draagkracht van de ondergrond, hetgeen bij deze proef goed tot uiting komt. Ter illustratie zijn in tabel 2.8.1 CBR-waarden weergegeven van enkele materialen.

Bedacht moet worden dat met de CBR-proef in situ hoofdzakelijk de invloed van de bovenste 0,10 m a 0,15 m wordt gemeten.

Tabel 2.8.1. CBR-waarden van enkele materialen. (*Vereniging voor Bitumineuze Werken*, 1985)

Materiaal	CBR in %
veen	0 - 2
klei boven grondwater	4 - 8
klei onder grondwater	3 - 5
opgespoten zand na verdichting	8 - 12
fijn dekzand na verdichting	12 - 18
grindzand na verdichting	15 - 40
hoogovenslakken 0/40 (voor binding)	40 - 70

- Sonderen

Sonderingen worden toegepast ter bepaling van het draagvermogen van grondlagen.

Met een handsondeerapparaat kan tamelijk snel een inzicht worden verkregen in het draagvermogen van de ondergrond. De drukkracht nodig om een conus van bepaalde afmeting met een bepaalde snelheid in de grond te drijven wordt gemeten. Tijdens het indrukken van de conus over een afstand van ca. 0,10 m wordt de hoogste waarde die de manometer tijdens het indrukken aangeeft genoteerd. Doorgaans is de schaal van de manometer afgestemd op het gebruik van de kleine conus met een oppervlak van 5 cm². De sondeerwaarde wordt uitgedrukt in N · mm⁻² en kan voor de verschillende grondsoorten variëren van 0 - 0,05 N · mm⁻² voor veen, van 0,2 - 2 N · mm⁻² voor klei en van 2 - 10 N · mm⁻² en meer voor zand. In het zand kan tot 1,5 N · mm⁻² met een handsondeerapparaat worden gemeten. Om de kleeftkracht van de omliggende grond aan de sondeerstang

te voorkomen dienen de sondeergaten te worden voorgeboord (voor 0,10 m sonderen moet 0,10 m worden geboord).

Gebleken is dat voor klei, licht kleihoudende zandgrond en fijn ophoogzand een globaal verband tussen de sondeerwaarde en de CBR-waarde bestaat, namelijk:

$\text{CBR in \%} = 4 \times \text{sondeerwaarde in N} \cdot \text{mm}^{-2}$.

- *De plaatbelastingproef*

Met deze proef is het mogelijk de draagkracht van fundering en ondergrond te onderzoeken alsmede de lagen van de wegconstructie in verschillende fasen van opbouw.

Uit het verband tussen zetting en belasting van ronde platen kan een inzicht worden verkregen in het draagvermogen van de onder de plaat aanwezige laag of lagen.

Een theoretische interpretatie van de meetresultaten is niet eenvoudig. Daarom wordt veel met empirische, aan plaatselijke omstandigheden gebonden relaties gewerkt. In veel landen is de proef in normen vastgelegd (Zwitserland, Duitsland, België, Frankrijk). De proefuitvoeringen verschillen alle, zodat onderlinge vergelijking nagenoeg onmogelijk is. De proef wordt toegepast als controle ter beoordeling van de verdichting van zandbedden of de draagkracht van funderingen. In Nederland wordt de proef weinig toegepast, zeker niet voor routine-onderzoek.

2.8.2. Onderzoek aan verhardingsconstructies

Voor het bepalen van het draagvermogen van verhardingsconstructies worden veelal deflectiemetingen of doorbuigingsmetingen verricht aan het wegooppervlak onder een bepaalde belasting. De bij de verschillende methoden gevonden deflectiewaarden zijn vanwege het verschil in meetmethodiek onderling moeilijk vergelijkbaar.

De meest gebruikte methoden zijn (zie onder andere *Technische Hogeschool Delft*, 1975):

- *Benkelman-balk*

Hierbij wordt de oppervlakte-deflectie onder de belasting van het dubbele achterwiel van een zeer langzaam rijdende vrachtauto gemeten door een beweegbare taster welke bevestigd is aan een op het wegdek geplaatst vast gedeelte die tussen de dubbele achterwielen kan worden gestoken.

De wagen kan achterwaarts naar de taster toerijden of de taster kan tussen de wielen worden geplaatst waarna de wagen wegrijdt. Deze methoden leveren verschillende deflectiewaarden op.

Hoewel de Benkelman-balk (BB) als voordeel heeft dat het een eenvoudig instrument is dat in veel landen al geruime tijd wordt toegepast, heeft het anderzijds het nadeel dat de belasting vrijwel statisch is (niet representatief voor rijdend verkeer) en de beweging van de steunpunten de interpretatie gecompliceerd maken. Daarnaast kan de deflectie mede worden beïnvloed door de andere wiellasten.

Bovendien past een dergelijk lange belastingstijd niet goed bij de aanname van lineair-elastisch gedrag ten behoeve van de interpretatie.

- Lacroix-deflectograph

Met de Lacroix-deflectograph (LD) wordt de deflectie onder de dubbele achterwielen van een vrachtauto gemeten volgens hetzelfde principe als bij de BB maar hier gebeurt dit bij een continue constante snelheid van de wagen waarbij het meetsysteem met testarmen afwisselend onder de wagen op het wegdek wordt geplaatst en weer automatisch naar voren wordt bewogen voor de volgende meting.

Hierdoor kan men vele metingen per dag doen maar opnieuw zijn er invloeden van bewegende steunpunten en voorwielen - hoewel nieuwe versies van de LD op dit punt verbeteringen vertonen - en blijft de belastingstijd tijdens de meting afwijken ten opzichte van de belasting van het verkeer.

- Dynaflect

Met dit instrument wordt een dynamische belasting aangebracht op de wegconstructie met een amplitude van ca. 2250μ bij een frequentie van 8 Hz. De deflectie wordt gemeten midden onder de last en op vier verschillende radiale afstanden daarvan. Voordelen van dit apparaat zijn de snelheid van werken en de meting van meerdere deflecties. Nadeel kan het lage belastingsniveau zijn (mogelijk niet representatief voor zwaar verkeer).

- Valgewichtdeflectometer

De valgewichtdeflectormeter (VGD) is oorspronkelijk ontworpen in Frankrijk en later verder ontwikkeld door Bohn in Denemarken. Bij dit apparaat valt een gewicht van een zekere hoogte op een stel veren die bevestigd zijn op een ronde voetplaat die op het wegoppervlak rust. Hierdoor ontstaat een puls-belasting met een korte belastingstijd. De grootte van de kracht kan worden gevarieerd door verschillende gewichten en/of valhoogtes te gebruiken. Er kunnen belastingen op de wegconstructie worden uitgeoefend die qua grootte en belastingstijd representatief zijn voor zwaar verkeer.

De deflectie wordt gemeten in het midden van de voetplaat en op een bepaalde afstand door middel van snelheidsopnemers. Hierdoor worden effecten van steunpunten vermeden.

Gewoonlijk wordt een meting op een bepaald punt in duplo uitgevoerd.

Met een prototype zijn vele metingen verricht op verschillende wegconstructies in Europa. Hierbij werden ook vergelijkende metingen uitgevoerd met de Benkelman-balk, de Lacroix-deflectograph en met een zware trilmachine (RVM).

Uit de metingen blijkt dat met redelijke nauwkeurigheid de modulus van ondergrond en de laagdikte van het asfalt uit VGD-deflecties kan worden afgeleid.

Verder blijken de resultaten van de VGD-metingen redelijk overeen te komen met die van LD-metingen terwijl de correlatie met BB-metingen slechter is.

Verder aanvullend onderzoek kan bestaan uit het meten van aslastgrootten met behulp van weegmatten of -platen en het uitvoeren van precisie-profielmetingen.

In de lengterichting van de weg met rolrij of viagraaf; in de dwarsrichting met de dwarsprofielmeter.

2.8.3. Onderzoek aan wegenbouwmaterialen

Uit de Standaard 1985 kunnen verschillende proeven genoemd worden welke onder andere van belang zijn bij de aanleg van plattelandswegen. In het onderstaande is een opsomming van de belangrijkste proeven gegeven, met verwijzing naar de proefnummers uit de Standaard 1985 met uitgebrachte aanvullingen in de SVB 1987.

- Bestendigheid van steen (16.0)
 - . kalkbestendigheid (16.1)
 - . ijzerbestendigheid en bestandzijn tegen vocht (16.2)
- Verbrijzelingsfactor van steen (17)
- Druksterkte van zandcement (22.0)
 - . geschiktheid van zand voor de bereiding van zandcement (22.1)
 - . benodigd gehalte aan cement (22.2)
 - . druksterkte van geboorde cilinders van zandcement (22.3)
- Schadelijke organische bestanddelen van zand (23.0)
- Geschiktheid van water voor zandcement, schraal beton of cementbeton (24.0)
- Mengkwaliteit van zandcement (25)
- Gehalte aan cement van zandcement (26)
- Verbrijzelingsfactor van steenslag en grind (53)
- Vooronderzoek van asfalt (56.0) (SBV 1987)
 - . grindasfaltbeton (56.2)
- Marshallproef: verband tussen belasting en vervorming van asfalt (57) (SBV 1987)
- Gehalte aan bitumen van warm bereid asfalt (65.0)
- Verdichtingsgraad van asfalt (66)
- Dichtheid van asfalt (67 en 68)
- Gehalte aan holle ruimte van asfalt (69)
- Vullingsgraad van asfalt (70)
- Gehalte aan bitumen van koud asfalt bereid met bitumenemulsie (72) en met vloeibitumen (74)
- Geschiktheid van nabehandelmiddel voor beton (75.0)

2.9. Verklaring van gebruikte afkortingen en literatuur

2.9.1 Lijst van in de technische vraagbaak veel voorkomende afkortingen

AASHO	= American Association of State Highway Officials
ASTM	= American Standards for Tests Methods
BB	= Benkelman-balk
CBR	= Californian Bearing Ratio
CBS	= Centraal Bureau voor de Statistiek
CMC	= natrium carboxy methyl cellulose
C.R.O.W.	= Stichting Centrum voor Regelgeving en Onderzoek in de grond-, Water- en wegenbouw en de verkeerstechniek.
CUR	= Civieltechnisch centrum Uitvoering Research en regelgeving
GAB	= Grindasfaltbeton
HCM	= Highway Capacity Manual
ITS	= Instituut voor Toegepaste Sociologie
LCPC	= Laboratoire Central des Ponts et Chaussees
LD	= Lacroix-deflectograaf
MPP	= Meerjarenplan Personenvervoer
mvt	= motorvoertuigen
NNI	= Nederlands Normalisatie Instituut
NPR	= Nederlands Praktijk Richtlijn
p.a.e.	= personen auto eenheid
p.r.t.	= perceptie- en reactietijd
RAW	= Stichting Rationalisatie en Automatisering grond-, Water en wegenbouw
RONA	= (Commissie) Richtlijnen Ontwerp Niet-Autosnelwegen
RSD	= zettingsdoorbuigingsgetal
RVM	= Road Vibration Machine (zware trilmachine)
RVV	= Reglement Verkeersregels en Verkeerstekens
SBV	= Standaardbepalingen Verhardingslagen
SCW	= Studie Centrum Wegenbouw
SL	= Structuurschema Landinrichting
SVV	= Structuurschema Verkeer en Vervoer
TRL	= Transport and Road Research Laboratory (Engeland)
VB	= Voorschriften Beton
VG	= valgewichtdeflectometer
VNC	= Vereniging Nederlandse Cement
VOSB	= Voorschriften voor het Ontwerp van Stalen Bruggen
WIPG	= Wegen in Plattelands Gebieden
WVR	= Wegenverkeersreglement

2.9.2. Literatuur

- Carmichael, R.F., P. de Kievit en L.C. Krepel, 1975.
Enkele aspecten met betrekking tot de instandhouding van wegen (I).
Wegen 1975 (6): p. 191-196.
- Carmichael, R.F., P. van Diggele en L.C. Krepel, 1976.
Enkele aspecten met betrekking tot de instandhouding van wegen (II).
Wegen 1976 (6): p. 180-185.
- Commissie Richtlijnen Ontwerp Niet-Autosnelwegen, 1983.
RONA-richtlijnen (voorlopig) hoofdstuk I, Basiscriteria.
- Commissie Richtlijnen Ontwerp Niet-Autosnelwegen, 1984.
Richtlijnen voor de aanleg van fietspaden langs wegvakken buiten de bebouwde kom.
- Commissie Richtlijnen Ontwerp Niet-Autosnelwegen, 1986.
RONA-richtlijnen (voorlopig) hoofdstuk VI, Wegen in plattelandsgebieden.
- Cultuurtechnische Dienst, 1967.
Veldcodering van grondsoorten, 2e herziene druk.
- Gerardu, J.J.A. en Ch.F. Hendriks, 1983.
Toepassingsmogelijkheden van alternatieve materialen. Publikatie Rijkswaterstaat nr. 44.
- Jongorius, A., 1957.
Morfologische onderzoeken over de bodemstructuur. Versl. Landbouwk. Onderzoek. 63-12, 's-Gravenhage.
- Liere, P. van, 1982.
Sluipverkeer op de plattelandswegen. Landinrichtingsdienst, Utrecht.
- Ministerie van Landbouw en Visserij, 1985.
Structuurschema Landinrichting, deel D: regeringsbeslissing. Staatsuitgeverij, 's-Gravenhage.
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1979.
Structuurschema Verkeer en Vervoer, deel D: regeringsbeslissing. Staatsuitgeverij, 's-Gravenhage.
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1979.
Meerjarenplan Personenvervoer 1980-1984. Staatsuitgeverij, 's-Gravenhage.
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1983-1.
Meet- en Rekenvoorschrift hoofdstuk V Wet Geluidhinder. Staatsuitgeverij, 's-Gravenhage.
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1983-2.
Brochure Berekening van wegverkeersgeluid. Staatsuitgeverij, 's-Gravenhage.
- Ministerie van Volksgezondheid, Ruimtelijke ordening en Milieuhygiëne, 1984.
Reconstructie van een weg en de toepassing van de Wet Geluidhinder. Publikatiereeks Milieubeheer nr. 1.
- Mooy, J., 1981.
Capaciteit van de plattelandswegen. Landinrichtingsdienst, Utrecht.
- Nederlands Normalisatie-Instituut, 1983.
Concept Nederlandse Praktijk Richtlijnen voor gegolfd plaatstalen duikers, Uitvoeringsaspecten en Sterkteberekening.
- Nederlands Normalisatie-Instituut, 1984.
Nederlandse Praktijk Richtlijn 3218, Buitenriolering: Aanleg en Onderhoud.
- Oenema, Th., 1981.
Verkeersafwikkeling op plattelandswegen. Landinrichtingsdienst, Utrecht.
- Provincie Gelderland, 1984.
Grondslagen voor het ontwerpen van hellingen ten behoeve van het fietsverkeer. Dienst Wegen, Verkeer en Grondzaken provincie Gelderland.
- Regterschot, D. en A.J. Moret, 1984.
Kentekenonderzoek. Cultuurtechn. Tijdschr. 24 (3): p. 155-163.
- Shell, 1963, 1977 en 1978.
Shell Pavement Design Manual.
- Stichting CUR-VB, 1985.
CUR-VB-rapport 122 "Buizen in de grond", Onderzoekscommissie C36 "Sterkte van buizen".

- Stichting RAW, 1985.
 Standaard RAW bepalingen (Standaard 1985).
- Stichting RAW, 1987.
 Standaardbepalingen Verhardingslagen (SBV 1987).
- Studiecentrum Verkeerstechniek, 1986.
 Aanbevelingen voor stedelijke verkeersvoorzieningen.
- Studiecentrum Wegenbouw, 1980.
 Oppervlakbehandelingen. Mededelingen 50 SCW.
- Studiecentrum Wegenbouw, 1987.
 Resultaten Studiegroep O3: Belastingpatroon op wegen.
- Studiecentrum Wegenbouw, 1987.
 Rationeel Wegbeheer. Mededelingen 60 SCW.
- Technische Hogeschool Delft, 1975.
 Het dimensioneren van bitumineuze materiaalcomposities in de wegenbouw.
 College e-22 b.o. cursus 1975-1976.
- Transport and Road Research Laboratory, 1965 en 1970.
 Road Note 29, 1965 resp. 1970 (Third Edition).
- United States Department of Agriculture, 1951.
 Soil Survey Manual. Handbook nr. 18.
- Vereniging Nederlandse Cementindustrie, 1985-1.
 Handleiding Betonwegen.
- Vereniging Nederlandse Cementindustrie, 1985-2.
 Betonverhardingen voor de landbouw.
- Vereniging Nederlandse Cementindustrie, 1986.
 Fietspaden van beton.
- Vereniging voor Bitumineuze Werken, 1984.
 Asfaltfietspaden. VBW uitgave nr. 6.
- Vereniging voor Bitumineuze Werken, 1985.
 Asfalt in wegen in waterbouw.
- Wit, L.B. de, 1979.
 Vrachtverkeer op plattelandswegen, Landinrichtingsdienst, Utrecht.

3. Bestekken, begrotingen en productienormen grondwerk

3.1. Bestekken

3.1.1. Begripsomschrijvingen

- UAV

Uniforme Administratieve Voorwaarden voor de uitvoering van werken.
Voor een uitgebreide omschrijving zie par. V. 3.1.6.

- AVW 1968

Algemene Voorwaarden voor de uitvoering van Werken 1968.
Voor een uitgebreide omschrijving zie par. V. 3.1.5.

- UAR 1986

Uniform Aanbestedingsreglement 1986.
Het UAR bevat procedures voor de verschillende wijzen van aanbesteden. Het is van toepassing verklaard op iedere aanbesteding waartoe de rijksoverheid besluit. Ook andere aanbesteders maken gebruik van het UAR.

- project

Het geheel van activiteiten, uitgevoerd door verschillende deelnemers in een tijdelijk samenwerkingsverband dat gericht is op een op zichzelf staand resultaat (*Zijlsta*, 1987).

- werk

Het uit te voeren werk of de te verrichten levering (UAV)

- bestek

De beschrijving van het werk, de daarbij behorende tekeningen, de voor het werk geldende voorwaarden, de nota van inlichtingen en het proces-verbaal van aanwijzing (UAV).

- nota van inlichtingen

Eén of meer nota's die van verstrekte inlichtingen zijn opgemaakt (UAR).

- procesverbaal van aanwijzing

Een verslag waarin de bij een aanwijzing ter plaatse verstrekte gegevens zijn vastgelegd (UAR).

- *standaardbestek*

Een verzameling (standaard)hulpmiddelen, waarvan de bestekschrijver zich bedient bij het samenstellen van een bestek (RAW).

- *aanbesteder*

Degene die voornemens is een werk op te dragen (UAR).

- *opdrachtgever*

De natuurlijke of rechtspersoon, die het werk opdraagt (UAV).

- *gegadigde*

Een natuurlijke of rechtspersoon die zich bij een aanbesteding met voorafgaande selectie aanmeldt met het verzoek tot inschrijving te worden uitgenodigd.

- *inschrijver*

Een natuurlijke of rechtspersoon die door middel van een inschrijving aanbiedt een werk uit te voeren (UAR).

- *aannemer*

Een inschrijver aan wie een werk is opgedragen (UAR).

- *adviseur*

Vertrouwensman of gemachtigde van de opdrachtgever binnen het terrein waarin hij deskundig is, die voor de opdrachtgever delen van het bouwproces regelt.

- *directievoerende instantie*

Een organisatorische eenheid waaruit één of meer personen worden aangewezen om toezicht uit te oefenen op de uitvoering van het werk en op de naleving van de overeenkomst van aanneming van werk (UAR).

- *vraagtechniek, aanbesteding*

Een vraagtechniek is een methode met behulp waarvan een aanbesteder één of meer aannemingsbedrijven vraagt prijsaanbieding(en) te doen voor de uitvoering van een werk. Gebruikelijke methoden zijn openbare aanbesteding, aanbesteding met voorafgaande selectie, onderhandse aanbesteding, onderhandse aanbesteding na selectie en enkelvoudige uitnodiging.

3.1.2. Regelingen tussen opdrachtgever en adviseur en tussen opdrachtgever en aannemer

Bij de tot standkoming van projecten is vaak een groot aantal personen, bedrijven en instanties voor kortere of langere tijd betrokken. Bij elk bouwproces is er een andere combinatie van deelnemers. Een opsomming voor bijvoorbeeld een landinrichtingsproject geeft de volgende, onvolledige lijst:

grondeigenaren en pachters, de landinrichtingscommissie, gemeenten, waterschappen, Landinrichtingsdienst, Gedeputeerde Staten, Provinciale Staten, Centrale Landinrichtingscommissie, Staatsbosbeheer, Kadaster, Bedrijfsontwikkeling, aannemers, cultuurmaatschappij etc.

In de bouwwereld zijn er andere deelnemers aan het bouwproces: particuliere opdrachtgevers, Ministerie van VROM, gemeenten, woningbouwverenigingen, beleggers, exploitatiemaatschappijen, architectenbureau's, adviesbureau's aannemers, installateurs etc. Het is nodig dat tijdens de voorbereiding en de uitvoering van de werkzaamheden duidelijk is wie welke taken en verantwoordelijkheden heeft. Dit is zowel om organisatorische als om juridische redenen van belang. Met betrekking tot de aanneming van werk spreekt het Burgerlijk Wetboek over de opdrachtgever en de aannemer. Een ordening van alle betrokkenen in "partijen" is derhalve nodig.

In het algemeen is er een "opdrachtgever" die een project wil realiseren. Hij heeft daartoe meestal de medewerking nodig van anderen die zorgen voor:

- voldoende geld (banken, beleggers, subsidie van de overheid);
- kennis en mankracht om één en ander te ontwerpen, te begroten (interne en externe adviseurs, architectenbureau's, ingenieursbureau's, constructeurs);
- goedkeuring in verband met wetten en verordeningen en dergelijke, bijvoorbeeld bestemmingsplannen, hinderwetvergunningen, subsidieregelingen (gemeenten, provincie, waterschappen, rijk);
- kennis, mankracht, materiaal en materieel om één en ander uit te voeren (aannemers, onderaannemers, leveranciers);
- kennis en mankracht om directie te voeren tijdens de uitvoering (één of meerdere interne of externe mensen van een adviesbureau, architecten, ingenieurs).

In het algemeen wordt bij de uitvoering van projecten een indeling in twee of drie "partijen" gemaakt: een opdrachtgever, een aannemer en eventuele adviseurs.

Tussen deze partijen kunnen verschillende relaties bestaan:

- het model "opdrachtgever-adviseur-aannemer";
- het model "opdrachtgever-aannemer";
- het bouwteammodel;
- het turn-keymodel.

Het model "opdrachtgever-adviseur-aannemer", wordt ook wel het traditionele bouwproces genoemd. De relaties zijn incidenteel, de verschillende deelnemers aan het bouwproces hebben geen blijvende binding. Het gaat om een tijdelijk samenwerkingsverband voor de duur van het project. De opdrachtgever gaat twee overeenkomsten aan: één met het adviesbureau (de adviseur) en één met de aannemer.

Het model "opdrachtgever-aannemer" heeft betrekking op opdrachtgevers die zoveel deskundigheid in huis hebben, dat ze geen externe adviseurs directie laten voeren. Veelal gaat het om opdrachtgevers die regelmatig werken laten uitvoeren en die de beschikking hebben over een eigen technisch apparaat (bijvoorbeeld grote gemeenten met een dienst gemeentewerken) dat zelf de ontwerpen maakt, de bestekken schrijft en toezicht houdt

op de uitvoering door de aannemer. Binnen dat apparaat worden een of meerdere personen belast met het directievoeren. De opdrachtgever gaat een overeenkomst aan met de aannemer.

Het "bouwteammodel" is een tijdelijk, actief samenwerkingsverband tussen opdrachtgever, aannemer(s) en adviseur(s). Kenmerkend is dat al in een vroeg planstadium wordt besloten in nauw overleg samen te werken bij het zoeken naar oplossingen voor de gestelde problemen. Iedere partij heeft daarbij vooraf vastgelegde verantwoordelijkheden. De opdrachtgever sluit een overeenkomst met de adviseur(s) en een met de aannemer(s).

Bij het "turn-keymodel" wordt door de opdrachtgever een kant en klaar produkt gevraagd (gereed om de sleutel om te draaien). De opdrachtgever formuleert zijn eisen en randvoorwaarden. Op grond daarvan gaat een aannemer, bijgestaan door interne of externe adviseurs, aan het werk. Bij de uitvoering is de opdrachtgever niet of nauwelijks betrokken. De opdrachtgever sluit een overeenkomst met de aannemer.

Het Nederlandse overeenkomstenrecht of contractenrecht is gebaseerd op contractsvrijheid. Dat houdt in dat partijen vrij zijn in het sluiten van elke door hen gewenste verbintenis-scheppende overeenkomst, mits zij voldoen aan een aantal eisen. In het Burgerlijk Wetboek staan inzake de overeenkomsten tussen opdrachtgever, adviseur en aannemer een aantal bepalingen die in belangrijke mate van aanvullend recht zijn (in tegenstelling tot de bepalingen van dwingend recht). De regels zijn bedoeld ter opvulling van eventuele lacunes in de overeenkomst. Er mag van worden afgeweken, en dat gebeurt in de praktijk op grote schaal.

De vorm waarin de overeenkomsten worden gegoten is in principe vrij. Een mondelinge overeenkomst is wettelijk even rechtsgeldig als een schriftelijke overeenkomst. Het verdient echter sterke aanbeveling overeenkomsten schriftelijk vast te leggen. Daarmee is de kans op onduidelijkheden over wat er is overeengekomen geringer. Ook om bewijsrechtelijke redenen in geval van geschillen, verdient een schriftelijke overeenkomst verre de voorkeur boven een mondelinge overeenkomst.

Behalve de vorm is ook de inhoud van de overeenkomsten in principe vrij. Er is in de praktijk in die overeenkomsten (nog) een geweldige verscheidenheid van voorwaarden te constateren. Het is mogelijk om bij het sluiten van de overeenkomst het Burgerlijk Wetboek sec van toepassing te verklaren.

Meer gebruikelijk is het om de bepalingen van het BW aan te vullen of te wijzigen door standaardvoorwaarden en/of eigen regelingen. Dat geldt voor de overeenkomsten tussen opdrachtgever en adviseur, maar nog in sterkere mate voor de overeenkomsten tussen opdrachtgever en aannemer. De eigen regelingen kunnen in belangrijke mate afwijken van de standaardvoorwaarden.

Bij de overeenkomst tussen opdrachtgever en adviseur/ architect/ ingenieur wordt nogal eens één van de volgende standaardvoorwaarden toegepast (deze lijst is niet volledig):

AR	1983	Algemene regelen voor de honorering van de architect en de verdere rechtsverhouding tussen opdrachtgever en architect.
ARTA	1983	Algemene regelen voor de honorering van de tuin- en landschapsarchitect en de rechtsverhouding tussen opdrachtgever en tuin- en landschapsarchitect.
ROA	1981	Regeling van de rechtsverhouding tussen opdrachtgever en architect, 1981.
RROA	1986	Regeling rechtsverhouding tussen opdrachtgever en architect, 1986.
RS	1985	Regeling betreffende de honorering van de stedenbouwkundig adviseur en de verdere rechtsverhouding tussen opdrachtgever en stedenbouwkundig adviseur.
RT	1980	Regeling en tabel voor de honorering van de architect en de verdere rechtsverhouding tussen opdrachtgever en architect bij woningbouw, 1980.
RVOA	1985	Regeling van de rechtsverhouding tussen opdrachtgever en architect, 1985.
RVOI	1987	Regeling van de verhouding tussen opdrachtgever en adviserend ingenieur.
SR	1987	Standaardvoorwaarden 1987 rechtsverhouding opdrachtgever-architect, vastgesteld door de BNA, 1987.

In de overeenkomst tussen opdrachtgever en aannemer wordt vrijwel altijd één van de volgende standaardvoorwaarden van toepassing verklaard:

a. standaardvoorwaarden met directie:

AVW	1968	Algemene voorwaarden voor de uitvoering van werken, 1968 (met als onderdeel daarvan de UAV).
ABI	1982	Algemene bepalingen voor de uitvoering van installatiewerken, 1982.
AVTI	1978	Administratieve voorwaarden voor de uitvoering van technische installaties, 1978.
UAV	1968	Uniforme administratieve voorwaarden voor de uitvoering van werken.
Standaard	1985	Standaard RAW bepalingen.

b. standaardovereenkomsten zonder directie:

AVKA	1979	De algemene voorwaarden uitvoering kleine aannemingen in het bouwbedrijf, 1977.
Model KA/AV		Model koop-/aannemingsovereenkomst met algemene voorwaarden, 1974.
AABL	1980	Algemene aannemingsvoorwaarden bedrijfsgebouwen in de landbouw, 1980.
AAK	1980	Algemene aannemingsvoorwaarden voor de kassenbouw, 1980.

De overeenkomsten tussen opdrachtgever en adviseur blijven hier verder onbesproken. In deze paragraaf zal verder aandacht worden besteed aan de overeenkomst tussen opdrachtgever en aannemer. Een zeer belangrijke rol wordt daarbij gespeeld door het bestek. Daarin wordt het werk zo goed mogelijk omschreven en wordt aangegeven welke voorwaarden van toepassing worden verklaard.

Met name de omschrijving van het werk vertoont in de praktijk nogal wat variatie. Om de bestekken uniformer te maken en tevens meer geschikt voor de inschakeling van de computer zijn zowel voor de woningbouw, als voor de Burger- en Utiliteitsbouw (B en U sector) en voor projecten op het terrein van de Grond-, Water- en Wegenbouw (GWW sector) werkgroepen bezig (geweest).

3.1.3. Wat is een bestek

In de UAV wordt onder een bestek verstaan: *"de beschrijving van het werk, de daarbij behorende tekeningen, de voor het werk geldende voorwaarden, de nota van inlichtingen en het proces verbaal van aanwijzing"*.

In het spraakgebruik heeft men het vaak over "het bestek en voorwaarden", waarbij de beschrijving van het werk wordt aangeduid met het bestek. Ook heeft men het regelmatig over "het bestek en tekeningen", waarbij met het bestek alleen de geschreven tekst wordt bedoeld. Dit is volgens de definitie van de UAV dus niet juist, omdat daarin alle genoemde onderdelen samen het bestek vormen.

Het bestek bevat als regel informatie over:

- wat er moet worden gemaakt of geleverd;
- waarvan het moet worden gemaakt;
- hoeveel er moet worden gemaakt of geleverd;
- waar het werk moet worden gemaakt;
- wanneer het werk moet worden gemaakt;
- de kwaliteitseisen die aan het werk worden gesteld;
- de voorwaarden waaronder het werk moet worden uitgevoerd;
- soms ook de wijze waarop het werk gemaakt moet worden. Over het algemeen laat men de aannemer echter vrij in de manier waarop hij het werk wil uitvoeren (bijvoorbeeld in handkracht of machinaal, keuze machines, volgorde van werken).

In de praktijk is de indeling van de bestekken en de formulering van de teksten niet bepaald uniform te noemen. Ieder bureau c.q. dienst waar bestekken worden gemaakt, heeft een eigen indeling en eigen besteksteksten die voor dat bureau min of meer zijn gestandaardiseerd.

Elk werk is op de één of andere manier uniek. Daarop moet voor elk werk een ander bestek worden geschreven. Bij het beschrijven daarvan kan meestal gebruik worden gemaakt van eerder opgedane ervaringen. Deze ervaring kan worden vastgelegd en verzameld in zogenaamde knipbestekken, moederbestekken of, zoals ze de laatste jaren veelal worden aangeduid, in standaardbestekken. Bestekken worden meestal gemaakt met behulp van dergelijke standaardteksten.

De term standaardbestek is in dit verband eigenlijk verkeerd. Een standaardbestek is namelijk geen bestek in de betekenis zoals die in de UAV wordt gebruikt. Met de term standaardbestek wordt volgens de Stichting Rationalisatie en Automatisering Grond-, Water- en Wegenbouw (RAW) een verzameling (standaard)hulpmiddelen aangeduid, waarvan de bestekschrijver zich bedient bij het samenstellen van een bestek.

Deze verzameling hulpmiddelen omvat tenminste:

- standaardteksten waarmee een beschrijving van een werk kan worden opgesteld;
- voorschriften omtrent uitvoering en bouwstoffen;
- administratieve voorwaarden.

Bestekken worden tegenwoordig meestal "geschreven" met behulp van computers. De hulpmiddelen zijn daarop afgestemd.

Partijen in het bouwproces hebben ieder hun eigen verantwoordelijkheid. De inbreng van de opdrachtgever ligt hoofdzakelijk in de ontwerpsfeer en de controle tijdens de uitvoering. De aannemer draagt primair de verantwoordelijkheid voor de uitvoering. In het bestek is zo goed mogelijk weergegeven welk resultaat de opdrachtgever gerealiseerd wil zien en welke rechten en plichten de partijen op zich zullen nemen. Zo'n bestek komt tot stand aan het einde van de voorbereidingsperiode voorafgaand aan de aanbesteding.

Een bestek is een essentieel onderdeel van het instrumentarium voor informatie in het bouwproces en de besturing daarvan. Zo is het de basis voor diverse begrotingen, werkplannen en produktie- en kostenbewaking. Wellicht de belangrijkste begroting die er op gebaseerd wordt, is de begroting welke gebruikt wordt bij het doen van de prijsaanbieding door de aannemer(s).

Een goed bestek moet uitgaande van de gelijkwaardigheid van partijen aan ten minste de volgende eisen voldoen (*Stichting RAW*, 1975):

- eenduidig:
er mag geen verschil van mening ontstaan over inhoud en omvang;
- duidelijk en geordend van opzet:
de beschrijving dient een duidelijke constructiebeschrijving te zijn, waarbij de inhoud gericht is op het verstrekken van informatie en het optimaal definiëren van verplichtingen;
- gericht op de uitvoering:
de beschrijving van het werk dient aan te sluiten bij de huidige praktijk in de GWW-sektor;
- homogeen ten aanzien van de kosten:
de prijs per eenheid van een bestekspost dient voor de gehele hoeveelheid gelijk te zijn. Dan zullen de besteksposten bruikbaar zijn voor plannings-, kostenbepalings- en kostenbewakingsdoeleinden.

Als voorbeeld van de indeling van een bestek is in figuur 3.1.1. de inhoudsopgave van een bestek van Heidemij Nederland b.v. gegeven. Vervolgens wordt uitgebreid aandacht besteed aan nieuwe ontwikkelingen op het gebied van het "schrijven" van bestekken met behulp van standaardbestekken. Vooral de RAW bestekken komen daarbij aan de orde.

Figuur 3.1.1. Voorbeeld van een inhoudsopgave van een Heidemij-bestek (aangepast)

		Blz.
Paragraaf 1.	ALGEMENE OMSCHRIJVING	
	1. Aard van de werkzaamheden	
	2. Plaatsbepaling, afmetingen e.d.	
	3. Tijdsbepalingen	
	4. Loon- en prijswijzigingen (risicoregeling)	
	5. Werk door derden	
	6. Overige bepalingen	
Paragraaf 2.	OMSCHRIJVING VAN HET WERK	
	1. Algemeen	
	2. Omschrijving en hoeveelheden (staat)	
Paragraaf 3.	VERREKEN- EN MEETMETHODEN	
	1. Wijze van verrekening van verrekenbare hoeveelheden	
	2. Wijze van meting van hoeveelheden	
	3. Op te geven verrekenprijzen	
Paragraaf 4.	VOORSCHRIFTEN OMTRENT BOUWSTOFFEN	
	1. Door de opdrachtgever ter beschikking te stellen bouwstoffen	
	2. Eisen bouwstoffen	
	3. Keuring bouwstoffen	
	4. Verrekening keuringskosten bouwstoffen	
Paragraaf 5.	VOORSCHRIFTEN VOOR DE UITVOERING	
	1. Opruimingswerk	
	2. Grondverzet c.a. etc.	
Paragraaf 6.	KABELS EN LEIDINGEN	
	1. Algemeen	
	2. Verplichtingen van de opdrachtgever	
	3. Verplichtingen van de aannemer	
Paragraaf 7.	VOORWAARDEN VAN ALGEMENE AARD	
	1. Standaardvoorwaarden	
	2. Aanvullingen op de Standaardvoorwaarden	
	3. Risicoregeling	
	4. Verzekeringen	
	5. Octrooi- en auteursrechten	

3.1.4. RAW-bestekken en andere standaardbestekken

Aanleiding tot oprichting van de Stichting RAW

De oprichting van de Stichting RAW in 1972 moet gezien worden in het licht van de naoorlogse ontwikkelingen. Deze ontwikkelingen lagen op verschillende terreinen:

- technische ontwikkelingen in de bouw ten aanzien van materialen, constructies en werkwijzen, waardoor er een grote behoefte ontstond om de verouderde 2e, 3e en 4e afdeling van de AVW 1968 (overgenomen uit de AV 1938) te vervangen;
- een sterke toename van de hoeveelheid werk;

- een wildgroei in de redactie van de bestekken;
- het aanvaarden van het principe van de gelijkwaardigheid van de partners in het bouwproces, zoals neergelegd in de UAV (de eerste afdeling van de AVW 1968);
- de mogelijkheden die geboden worden door de uitvinding van de computer.

Doelstelling van de Stichting RAW, oprichting van de Stichting C.R.O.W..

De Stichting RAW heeft volgens de statuten ten doel: "Het ontwikkelen, het bevorderen van het gebruik en het verschaffen van hulpmiddelen voor een rationele voorbereiding en begeleiding van het bouwproces in de grond- water en wegenbouw in de ruimste zin des woords."

In meer praktische termen is deze doelstelling als volgt te omschrijven.

- a. Rationalisatie van het bouwproces voor de gehele GWW-sector door:
 - de besteksindeling te uniformeren;
 - het samenstellen van catalogi ten behoeve van het schrijven van bestekken
 - het daarop aansluitend afstemmen en moderniseren van administratieve besteksbe-
palingen en technische voorschriften;
 - te streven naar normalisatie.
- b. De toepassing van automatisering mogelijk maken en het scheppen van voorzieningen voor alle activiteiten van het bouwen, onder andere door:
 - de behoefte aan informatie te peilen;
 - het maken van eenduidige coderingssystemen;
 - het definiëren en het ordenen van in de gebruikte termen;
 - administratieve toepassingen te ontwikkelen.

Toen de RAW in 1972 met de werkzaamheden begon, lag het accent op de wegenbouw (RAW was een afkorting voor Rationalisatie en Automatisering Wegenbouw) en op werken van grotere opdrachtgevers, zoals veelal door de Rijkswaterstaat aanbesteed. Mede door terugkoppeling naar de praktijk is de systematiek bruikbaar gemaakt voor de gehele grond- water- en wegenbouw en tevens voor kleinere werken. Dit heeft er toe geleid dat in 1985 de naam van de Stichting RAW is veranderd in Stichting rationalisatie en automatisering grond-, water- en wegenbouw. De afkorting bleef RAW.

Dat de ontwikkelingen doorgaan blijkt uit de fusie in 1987 van de Stichting RAW met het Studiecentrum Wegenbouw en het Studiecentrum Verkeerstechniek. De activiteiten van de Stichting RAW zijn toen ondergebracht in de Stichting Centrum voor Regelgeving en Onderzoek in de Grond-, Water- en Wegenbouw en de Verkeerstechniek, C.R.O.W.. De naam RAW blijft gekoppeld aan de bestekssystematiek.

Andere standaardbestekken en coördinatie

Niet alleen de RAW, maar ook andere groeperingen hebben zich de afgelopen jaren beziggehouden met het ontwikkelen van standaardbestekken en het toepassen van de computer bij de informatieverzorging.

In het buitenland, met name in Duitsland, Zweden, Engeland en Zwitserland waren soortgelijke ontwikkelingen aan de gang. Het Standaard-Referentiebestek voor de Woningbouw (SRW) van het Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke ordening en Milieuhygiëne (VROM) is al sinds 1978 in gebruik.

In de Bouw en Utiliteitssector (B en U) was men in het begin van de jaren '70 ook op een aantal plaatsen bezig met dergelijke activiteiten. Een aantal grote bureau's, aannemingsbedrijven en diensten ontwikkelden samen of voor eigen gebruik standaardbestekken. Eenheid in deze standaardbestekken ontbrak echter.

Om bij de ontwikkeling de gewenste coördinatie tussen de zich in dat aandachtsveld bewegende instanties te bewerkstelligen, is in 1974 de Vereniging voor de Ontwikkeling van Uniforme Grondslagen en coördinatie van informatie in het Bouwwezen (UGCB) opgericht. Deze vereniging kreeg een coördinerende taak, waarbij het kernpunt van de activiteiten gericht is op de ontwikkeling van standaardbestekken en daarop aansluitende kostenbeheersingstechnieken.

Enige tijd heeft het in de bedoeling gelegen om voor het gehele terrein van de bouw te komen tot een nationaal standaardbestek. Dit zou dan bestaan uit een rij boekwerken waarin de standaard-technische bepalingen en de technische werkbeschrijvingen van alle sectoren in de bouw vermeld stonden, variërend van een stormvloedkering tot een woning. Daarvan is men toch wel teruggekomen. Men streeft nu naar een nationaal standaardbestek, bestaande uit afzonderlijke standaardbestekken voor de verschillende sectoren van de bouw, evenwel opgebouwd met dezelfde systematiek en indeling (*Nieuwswaag*, 1982). Dit komt neer op standaardbestekken voor de GWW-sector, voor de B en U-sector, voor de woningbouwsector en voor onderhoudswerkzaamheden.

In dat kader past de oprichting in 1976 onder auspiciën van de UGCB van de Stichting Standaardbestek Burger- en Utiliteitsbouw (STABU). In deze stichting zijn vertegenwoordigd het Ministerie van VROM, de BNA, de ONRI en het AVBB. Deze stichting heeft het STABU-bestek ontwikkeld, dat in 1986 operationeel is geworden.

Er is hoge prioriteit gegeven aan de ontwikkeling van standaardbestekken. Daarvoor zijn de volgende redenen aan te dragen.

In de keten van informatieverzorging in het bouwproces neemt het bestek een centrale plaats in. Deze plaats wordt gemarkeerd door de overdracht van informatie welke gedurende de ontwerpfase wordt opgebouwd, naar de fase van de uitvoering van het werk. Het bestek vervult hierbij de functie van informatiedrager voor de aanbesteding en de uitvoering van het werk en dient tevens als contractstuk bij de aannemingsovereenkomst. Aan de kwaliteit van het bestek worden hoge eisen gesteld. Een standaardbestek kan een bijdrage leveren aan de verbetering van de kwaliteit van het bestek en aldus aan de informatieverzorging in het bouwproces door het leveren van een sluitend stelsel van op het werk betrekking hebbende voorwaarden, een systematische, uniforme indeling en een eenduidig woordgebruik (*Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke ordening en Milieuhygiëne*, 1980).

In het hierna volgende zal verder alleen aandacht worden besteed aan het werk van de RAW, omdat dit het meest op het vakgebied van de cultuurtechniek ligt. RAW-bestekken zijn de afgelopen jaren reeds op bescheiden schaal ingevoerd. Het is waarschijnlijk dat over enkele jaren de RAW-bestekken de "eigen" bestekken van opdrachtgevers en ingenieursbureau's geheel zullen vervangen.

Uitgangspunten RAW-systematiek

De RAW-systematiek is gebaseerd op de volgende uitgangspunten.

- De huidige praktijk

Bij de ontwikkelde beschrijvingen en bepalingen is er van uitgegaan dat het uit te voeren werk zal worden aanbesteed volgens de regels van het Uniform Aanbestedingsreglement (UAR) en dat op de uitvoering van het werk de UAV van toepassing zullen zijn. Indien hiervan wordt afgeweken zal één en ander moeten worden aangepast.

- Gelijkwaardigheid

Als algemeen uitgangspunt wordt gehanteerd de erkenning van de contractuele gelijkwaardigheid van de partijen in het bouwproces. Er wordt van uitgegaan dat er bij de tot standkoming van werken twee contractpartners zijn: de opdrachtgever en de aannemer.

- Afpaling van verantwoordelijkheden en risico's

Opdrachtgever en aannemer hebben ieder op hun gebied van het bouwproces een eigen verantwoordelijkheid. De opdrachtgever draagt in hoofdzaak de verantwoordelijkheid voor het ontwerp en de aannemer voor de uitvoering.

Er is van uitgegaan dat de aannemer een zodanige deskundigheid en bekwaamheid aangaande de uitvoering heeft, dat in het bestek in het algemeen geen voorschriften omtrent de uitvoering behoeven te worden opgenomen. Dit niet ingrijpen in de uitvoeringswijze wordt niet toegepast in die gevallen waar een onevenredig groot risico voor één van de bouwpartners zou ontstaan of waar een kans zou zijn op het optreden van onherstelbare fouten.

Ook in gevallen waar alleen een bepaalde uitvoeringswijze tot een bepaald resultaat zou leiden of waar belangen van derden geschaad zouden worden, is het afwijken van genoemd uitgangspunt aanvaardbaar.

- Relevante en eenduidige informatie

De informatie-inhoud van het bestek en andere tot de systematiek behorende documentatie moet zodanig zijn, dat de verlangde prestatie van de aannemer duidelijk en eenduidig wordt omschreven, wat ondermeer een goede prijsvorming zal bewerkstelligen.

- Uitvoeringsgericht bestek

De RAW gaat er van uit dat het bestek de primaire informatiedrager is voor de beschrijving van het te maken werk. In de huidige situatie is gebleken dat het bestek zijn zwaartepunt vindt in de aanbestedingsperiode en in het merendeel der gevallen is het bestek dan ook het document waarin opdrachtgever en aannemer elkaar voor het eerst "ontmoeten".

Het bestek wordt daardoor een belangrijk onderdeel van het instrumentarium voor de besturing van het bouwproces. Omdat er van wordt uitgegaan dat het bestek primair uitvoeringsdocument is op grond waarvan wordt gecalculeerd en betaald, zal het bestek dan ook uitvoeringsgericht geschreven moeten zijn. Uitvoeringsgericht betekent ingedeeld naar werkeenheden.

- Kostenhomogene besteksposten

Het werk moet worden beschreven met uniforme, eenduidige en kostenhomogene posten. Kostenhomogeen wil zeggen dat de prijs per eenheid voor de gehele bij de bestekspost behorende hoeveelheid zoveel mogelijk gelijk is.

- Geschikt voor computer en handverwerking

Het systeem moet niet uitsluitend geschikt zijn voor geautomatiseerde gegevensverwerking. Bepaalde categorieën gebruikers kunnen dan worden benadeeld. Uit dien hoofde wordt bij de opzet van het systeem als eis gesteld dat "handverwerking" mogelijk blijft. In dat laatste geval worden uiteraard de voordelen van computerverwerking niet benut.

- Uniformiteit

Het gebruik van de te ontwikkelen hulpmiddelen zal ertoe leiden dat er uniformiteit ontstaat in bestekken, bestekvoorwaarden en besteksadministratie.

De praktische vertaling van deze uitgangspunten is terug te vinden in de hulpmiddelen waaruit de systematiek bestaat. Hiervan zijn te noemen:

- de RAW-catalogus met resultaatsbeschrijvingen (standaardwerkbeschrijvingen);
- het boekwerk Standaard RAW bepalingen (Standaard 1985);
- de handleidingen;
- programmatuur voor het maken van bestekken en besteksadministratie;
- systeembeschrijvingen, etc.

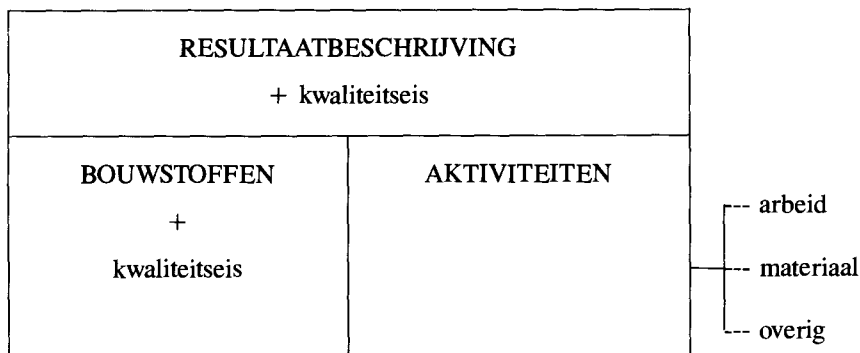
Aan de resultaatsbeschrijvingen en de Standaard RAW bepalingen zal hieronder wat meer aandacht worden besteed.

Catalogus met resultaatsbeschrijvingen

De gemaakte standaardwerkbeschrijvingen, verder te noemen resultaatsbeschrijvingen, zijn geschikt voor het beschrijven van de meest voorkomende constructies in de sector grond-, water- en wegenbouw.

De resultaatsbeschrijvingen zijn gesorteerd op zogenaamde werkcategorieën (wegverhardingen, grondwerken, groenvoorzieningen, etc) en in een omvangrijke catalogus, de "RAW-catalogus met resultaatsbeschrijvingen" opgenomen. Delen van die teksten zullen voor specifieke organisaties minder van belang zijn. Ten gevolge daarvan zijn deelcatalogi ontstaan, de zogenaamde selectiecatalogi.

Bij het maken van de resultaatsbeschrijvingen is behalve van de eerdergenoemde uitgangspunten, uitgegaan van een bepaalde structuur. Deze ziet er als volgt uit:



Figuur 3.1.1. Structuur resultaatsbeschrijving RAW-bestekken.

Resultaatsbeschrijving

De resultaatsbeschrijving geeft een nauwkeurige beschrijving van een resultaat, waar nodig aangevuld met kwaliteitseisen. De beschrijving bestaat bijvoorbeeld uit specifieke maten (hoogte, breedte, etc.)

Bouwstoffen

De bouwstoffen waaruit het resultaat wordt samengesteld, wordt beschreven, eventueel nog aangevuld met de erbij behorende kwaliteitseisen.

Activiteiten

De omschrijving van de activiteiten in de resultaatsbeschrijving is in beginsel in algemene termen gesteld, bijvoorbeeld "ontgraven" in plaats van "baggeren" of "zuigen". Het beschrijven van de uitvoeringswijze wordt hiermee voorkomen, waardoor de aannemer vrij wordt gelaten in de organisatie van het werk, voor wat betreft personeelsinzet, materieelkeuze, hulpmaterialen, uitbesteding, etc.

Het samenstellen van een RAW-bestek en andere staten

Een RAW- bestek bestaat uit drie delen:

- deel 1 Algemeen
- deel 2 Beschrijving
- deel 3 Standaardbepalingen.

Het deel 1 "Algemeen" van het bestek bevat gegevens die van belang zijn in de periode die vooraf gaat aan het verlenen van de opdracht.

De vaste indeling van deel 1 is als volgt:

- 01 Opdrachtgever, aanbesteder
- 02 Directie
- 03 Inlichtingen
- 04 Inschrijving

- 05 Inschrijvingsstaat
- 06 Aanbesteding
- 07 Opdracht
- 08 Locatie
- 09 Algemene beschrijving
- 10 Tijdsbepaling
- 11 Onderhoudstermijn

Deel 2 "Beschrijving" is onderverdeeld in:

- 2.1 Algemene gegevens
- 2.2 Nadere beschrijving

De algemene gegevens betreffen de bijbehorende tekeningen, de peilen en hoofdafmetingen.

Hieronder zal aandacht worden besteed aan de "nadere omschrijving" van het werk.

De besteksschrijver zal voor het samenstellen van het bestek een keuze maken uit de catalogus met resultaatsbeschrijvingen. Zijn keuze moet hij nog aanvullen met de specifieke projectgegevens, zoals hoeveelheden, situering, exacte maten, bijzonderheden en dergelijke, zodanig dat een voor de calculatie en uitvoering bruikbaar geheel ontstaat.

Omdat de catalogus met resultaatsbeschrijvingen nooit compleet zal zijn, dienen in voorkomende gevallen bovendien eigen "vrije teksten" te worden gemaakt die door een aparte code (9) duidelijk herkenbaar zijn.

Het samenstellen van de bestekken gebeurt door het invoeren, c.q. opgeven van de bijbehorende codes. Deze codes zijn onderverdeeld in hoofdcodes en deficodes. Zie de tabellen 3.1.1 t/m 3.1.4.

Behalve ten behoeve van het samenstellen van bestekken, leent het RAW-systeem zich ook uitstekend voor automatisering van de besteksadministratie.

Tezamen met een uitdraai van het bestek wordt automatisch een inschrijvingsstaat samengesteld. Deze inschrijvingsstaat bevat in het kort een weergave van alle besteksposten waarvoor de aannemer een prijs per eenheid moet opgeven, onderverdeeld in verrekenbaar en niet verrekenbaar. Tevens zijn weergegeven de nader te specificeren "staartkosten". Zie tabel 3.1.5.

Opgemerkt moet worden dat deze inschrijvingsstaat fors afwijkt van de traditionele inschrijvingsbiljetten. De inschrijvingsstaat dient tijdens de uitvoering als betalingsstaat. Als zodanig is de inschrijvingsstaat de basis voor de geautomatiseerde besteksadministratie.

Bij deze besteksadministratie kunnen de volgende staten worden gebruikt: weekstaat, termijnstaat, prognosestaat, staat van afrekening en de staat van meer en minder werk. In tabel 3.1.6 is een voorbeeld van een termijnstaat weergegeven.

In het navolgende worden zes tabellen uit RAW-publicaties weergegeven, waarmee de opbouw van het systeem wordt geïllustreerd.

Tabel 3.1.1. Overzicht werkcategorieën.

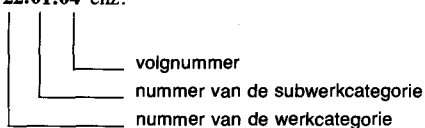
11	Sloopwerk
17	Bodemsanering
21	Bemalingen
22	Grondwerken
23	Drainage
24	Leidingwerk
26	Kabelwerk
31	Wegverhardingen
32	Wegbebakening
33	Geleiderail
34	Wegverlichting
41	Funderingstechnieken
42	Betonwerk
51	Groenvoorzieningen
52	Kust- en Oeverwerken
61	Werk Algemene Aard

Tabel 3.1.2. Indeling werkcategorie grondwerken in subwerkcategorieën.

- 22	Grondwerken	(werkcategorie)
- 22.01	Grond ontgraven	(subwerkcategorie)
- 22.02	Grond vervoeren	(idem)
- 22.03	Grond verwerken	(idem)
- 22.04	Afscheiden fracties, verdichten en profileren	(idem)
- 22.08	Zakbaken	(idem)
- 22.11	Cultuurtechnisch grondwerk	(idem)
- 22.21	Grondbewerkingen	(idem)

Tabel 3.1.3. Indeling subwerkcategorie grond ontgraven uit cunet in volgnummers met bijbehorende deficiëncies en standaardteksten.

- 22	Grondwerken	(werkcategorie)
- 22.01	Grond ontgraven	(subwerkcategorie)
- 22.01.01	Grond ontgraven uit watergang	(volnummer)
- 22.01.02	Grond ontgraven uit cunet	(idem)
- 22.01.03	Grond ontgraven uit put	(idem)
- 22.01.04	enz.	



Vervolg tabel 3.1.3.

RAI

RESULTAATS BESCHRIJVINGEN

WERKKATEGORIE		: 22	Grondwerken.		VERSIE: 85-02					
SUBWERKKATEGORIE:		01	Grond ontgraven.							
ROMPTEKST (00)		:	Grond ontgraven uit cunet.							
HOOFDKODE			DEFIKODE					RE- GEL NR.	TEKSTEN	EEN- HEID
WRK KAT	SUB W.K	VLG NR.	1	2	3	4	5	6		
22	01	02							01 GROND ONTGRAVEN UIT CUNET.	m3
									02 # regelnrs. 02 t/m 05.	
									03 situering in het werk (met vermelding tek.nrs.)	
									04 en bijzonderheden volgens handleiding vermelden.	
									05	
									06 Grondsoort: # regelnrs. 06 t/m 13.	
									07 voor het aangeven van de grondsoorten wordt ver-	
									08 wezen naar de handleiding.	
									09 bij meerdere grondsoorten de gemiddelde laagdik-	
									10 te per grondsoort vermelden. bij gescheiden ont-	
									11 graven tevens de hoeveelheden per grondsoort	
									12 aangeven.	
									13	
									14 # regelnrs. 14 t/m 20.	
									15 methode van hoeveelheidsbepaling, zoals:	
									16 hoeveelheidsbepaling m.b.v. theoretisch profiel/	
									17 a.h.v. meting in het werk - tevens aangeven pro-	
									18 fiel van ontgraving of profiel van verwerking	
									19 hoeveelheidsbepaling a.h.v. meting in middelen	
									20 van vervoer.	
			1						01 Ontgraven - grondsoorten niet gescheiden ontgraven	
			2						01 Ontgraven - grondsoorten gescheiden ontgraven	
			1						01 Ontgravingshoogte gemiddeld **** m [tot 0,25 m]	
			2						01 Ontgravingshoogte gemiddeld **** m [van 0,25 tot	
									02 0,50 m]	
			3						01 Ontgravingshoogte gemiddeld **** m [van 0,50 tot	
									02 1,00 m]	
			4						01 Ontgravingshoogte gemiddeld **** m [van 1,00 tot	
									02 2,00 m]	
			5						01 Ontgravingshoogte gemiddeld **** m [van 2,00 tot	
									02 3,50 m]	
			6						01 Ontgravingshoogte gemiddeld **** m [van 3,50 tot	
									02 5,00 m]	
			7						01 Ontgravingshoogte gemiddeld ***** m [5,00 m en	
									02 meer]	
			1	2	3	4	5	6		

22.01.02-

22.01.02-1

RESULTAATS BESCHRIJVINGEN

WERKKATEGORIE : 22 Grondwerken.										VERSIE: 85-02										
SUBWERKKATEGORIE: 01 Grond ontgraven.																				
ROMPTEKST (00) : Grond ontgraven uit cunet.																				
HOOFDKODE			DEFIKODE						RE- GEL NR.	TEKSTEN	EEN- HEID									
WRK KAT	SUB W.K	VLG NR.	1	2	3	4	5	6												
22	01	02		1					01	Ontgravingsbreedte op bodem gemiddeld **** m										
									02	[tot 1,00 m]										
				2					01	Ontgravingsbreedte op bodem gemiddeld **** m										
									02	[van 1,00 tot 2,00 m]										
				3					01	Ontgravingsbreedte op bodem gemiddeld **** m										
									02	[van 2,00 tot 5,00 m]										
				4					01	Ontgravingsbreedte op bodem gemiddeld **** m										
									02	[van 5,00 tot 10,00 m]										
				5					01	Ontgravingsbreedte op bodem gemiddeld ***** m										
									02	[van 10,00 tot 25,00 m]										
				6					01	Ontgravingsbreedte op bodem gemiddeld ***** m										
									02	[van 25,00 tot 50,00 m]										
				7					01	Ontgravingsbreedte op bodem gemiddeld ***** m										
									02	[50,00 m en meer]										
				1					01	Taluds * : * [1 : 0 tot 1 : 2]										
				2					01	# regelnrs. 01 en 02.										
									02	hellingen taluds aangeven van 1 : 2 en flauwer.										
				1					01	Toegestane positieve afwijking 0,02 m										
				2					01	Toegestane positieve afwijking 0,03 m										
				3					01	Toegestane positieve afwijking 0,05 m										
				4					01	Toegestane positieve afwijking 0,10 m										
				5					01	Toegestane positieve afwijking **** m [meer dan										
									02	0,10 m]										
				1					01	Toegestane negatieve afwijking 0,02 m										
				2					01	Toegestane negatieve afwijking 0,03 m										
				3					01	Toegestane negatieve afwijking 0,05 m										
				4					01	Toegestane negatieve afwijking 0,10 m										
				5					01	Toegestane negatieve afwijking **** m [meer dan										
									02	0,10 m]										
1	2	3	4	5	6															
										** 22.01.02										

** 22.01.02-2

Tabel 3.1.4. Een voorbeeld van een gedeelte uit een RAW-bestek.

BESTEKS POST- NUMMER	KATALOGUSNUMMER MODFD- KODE	DEFIKODE 1:2:3:4:5:6	DMSCHRIJVING	EEN- HEID	HOEVEELHEID RESULTAATS- VERPLICHTING	N V	HOEVEEL- HEID BOUWSTOF	L B
4			KUNSTWERKEN					
41			DUIKERS					
411			DUIKERS IN BESTAANDE DAMMEN					
411110	246106		Aanbrengen PVC duiker.	m	14,	X		
		1.	Situering: betreft de dammen IV en V					
		2.	In dam, inclusief grondwerk					
		2.	Verlagen waterstand toegestaan					
		2.	Lengte van 5,00 tot 11,00 m,					
		2.	Nominale middellijn 315 mm; klasse 34	m			14,	X
		1	Uiteinden duiker: afgebraamd buiseind					
411120	246102		Aanbrengen ongewapend betonnen duiker - mof-spie- buis -	m	18,	X		
			Situering: betreft de dammen D en I					
			Fundering: op staal					
		1.	In dam, inclusief grondwerk					
		2.	Verlagen waterstand toegestaan					
		2.	Lengte van 5,00 tot 11,00 m, 2 st					
		2.	Ronde buis: nominale middellijn 500 mm	m			18,	X
		2.	Rolverbinding buizen door middel van bijbehorende rubberring					
		2	Uiteinden duiker: mof- en spie-eind					
411130	246199		Verleggen betonnen duiker, diam. 300 mm	m	20,	X		
			Situering: betreft de dammen F en G					
411131	241601		Verwijderen betonnen duiker - elementen -					
		1.	In dam, inclusief grondwerk					
		2.	Verlagen waterstand toegestaan					
		1.	Duikerelementen van ongewapend beton					
		1.	Ronde buis: nominale middellijn tot 600 mm					
		1.	Fundering op staal					
		1	Vrijkomende materialen verwerken volgens besteks- postnr(s). 411132					

Tabel 3.1.6. Een voorbeeld van een gedeelte van een termijnstaat

RAA7510110508B9000131256*****				2E EK BLAD 1			
BESTEK 5 ADMINISTRATIE TERMIJNSTAAT 03				DATUM 30-01-84			
VOLGENS RAW-SYSTEEM				BEZE TERM TM WK 04-84			
*****				VORIGE TERM TM WK 51-83			
0189	RVK GILZE-BAVEL-RYEN	11E KAVELTNR.BESTEK	AANVANG 01-11-83 VS B1				
GEBR.VERLOUW BV	AANNEMINGSSOM F	725.800,00	OPLEVERING NA 70 WED				
BESTEKS VERKORTE DMSCHRIJVING POSTNR	NDEVEELHEID RESULTAATSVERPL.	STATUS VERMERKTE NDEVEELHEDEN	PRIS EENH V N G IN TERMIJN	TM TERMIJN	VER.PRIJS	BEDRAG TM TERMIJN	
1	OPRUIMINGSWERK						
101	MOETGEWAS						
1011	BOMEN						
101110	VERWIJDEREN BOMEN, DIAM. KLEINER DAN 0,20 M	ST	205 X	2	31	15,00	465,00
101120	VERWIJDEREN BOMEN, DIAM. 0,20 TOT 0,30 M	ST	240 X	1	34	17,50	965,00
101130	VERWIJDEREN BOMEN, DIAM. 0,30 TOT 0,50 M	ST	335 X		93	22,50	2.092,50
101140	VERWIJDEREN BOMEN, DIAM. 0,50 TOT 1,00 M	ST	120 X	1	40	30,00	1.200,00
1012	STRIJKEN EN OPSLAG						
101210	VERWIJDEREN STRUIKGEWAS EN OPSLAG	M2	1880 X		545	1,50	817,50
101220	VERWIJDEREN HAKHOUT, HOUTWALLEN, BRSSCHNAGES, E.D.	M2	1250 X	50	515	2,50	1.287,50
1013	BOSSEN						
101310	VERWIJDEREN BBS	M2	3500 X			2,00	
1014	STDBOEN						
101410	VERWIJDEREN STDBOEN, DIAM. KLEINER DAN 0,20 M	ST	10 X	2	8	5,00	40,00
101420	VERWIJDEREN STDBOEN, DIAM 0,20-0,30 M	ST	30 X	16	22	6,50	143,00
101430	VERWIJDEREN STDBOEN, DIAM. 0,30-0,50 M	ST	40 X	2	22	8,00	176,00
101440	VERWIJDEREN STDBOEN, DIAM. 0,50-1,00 M	ST	50 X	1	27	12,50	357,50
102	GEWAS						
102010	MAKEN GEWAS OP TE BEWERKEN TERREINGEDEELTEN	ARE	200 X			1,25	
103	TERREINAFSCHEIDINGEN						
103010	VERWIJDEREN WEIDE-AFRASTERING.	M	3500 X		100	0,40	40,00
104	DUIKERS EN BRUGGEN						
104010	VERWIJDEREN DUIKERS VAN BETONBUIS, DIAM.TOT 600 MM M		400 X	25	166	7,50	1.245,00
104020	VERWIJDEREN DUIKERS VAN REICONSUIS, DIAM.600-1800 MM M		30 X		11	12,50	137,50
104030	VERWIJDEREN IJERLEGGEN DUIKERS .DIAM.TOT 600 MM M		150 X			15,00	
104040	VERWIJDEREN RIELZEN-BRUG	ST	2 X	2	2	75,00	150,00

Tabel 3.1.5. Een voorbeeld van een gedeelte van een inschrijvingsstaat.

BESTEKS POST- NUMMER	OMSCHRIJVING	EEN- HEID	HOEVEELHEID RESULTAATS- VERPLICHTING	N V	PRIJS PER EENHEID IN GULDENS	TOTAAL BEDRAG IN GULDENS
413010	Aanbrengen gronddam met PVC-duiker (300 mm)	st	5,	X		
413020	Aanbrengen gronddam met betonduiker (300 mm)	st	1,	X		
413030	Aanbrengen gronddam met betonduiker (400 mm)	st	1,	X		
42	STUWEN					
421	BEMALING EN AFDAMMING					
421010	Toepassen bronbemaling, incl. afdamming.	st	3,	X		
422	AANBRENGEN STUWEN MET TOEBEHOREN					
422010	Heien damwand van tropisch hout.	m	82,10	X		
422020	Aanbrengen gording, incl. verankering.	m	56,60	X		
422030	Aanbrengen prefab stuw.	st	3,	X		
422040	Grond verwerken en verdichten.	m3	27,	X		
422050	Aanbrengen pvc-drain in grindkoffer	m	60,	X		
422060	Aanbrengen bodem/taludvoorziening	m2	150,	X		
423	TALUDVOORZIENING STUW					
423010	Minnen en aanbrengen spitzoden.	m2	225,	X		
6	ZAAIWERKZAAMIJEDEN					
61	BEMESTEN EN INZAATEN					
611	OPGEHOOGD TERREIN					
611010	Bemesten terrein.	are	225,	X		
611020	Zaaien.	are	225,	X		
612	DEMPINGEN, RIJ- EN WERKSTROKEN					
612010	Bemesten terrein.	are	282,	X		
612020	Zaaien.	are	282,	X		
7	TERREININRICHTINGSWERK					
71	TERREINAFSCHEIDINGEN					
711	AFRASTERING					
711010	Aanbrengen afrastering	m	400,	X		
712	TIJDELIJKE AFRASTERING					
712010	Toepassen tijdelijke afrastering, veekeerend.	m	6620,	X		
8	WERKEN VAN ALGEMENE AARD					
82	TIJDELIJKE VOORZIENINGEN					
821	DIRECTIEBEHOEFEN					
821010	Gebruik keet.	st	1,	X		
83	MAN- EN MACHINE-UREN					
831	TER BESCHIKKING STELLEN WERKNEMERS EN MATERIEEL					
831010	T.b.s. werknemer.	uur	300,	X		
831020	T.b.s. bulldozer.	uur	20,	X		
831030	T.b.s. hydraulische graafmachine.	uur	50,	X		
831040	T.b.s. vrachtauto.	uur	200,	X		
	SUBTOTAAL					
91	EENMALIGE KOSTEN, GESPECIFICEERD ALS VOLGT:					
910010	Inrichten werkterrein f					
910020	Opruimen werkterrein f					
910030	 f					
910040	 f					
910050	 f					
918880	Overige eenmalige kosten f					
919990	Totaal eenmalige kosten	gld		X		
929990	Uitvoeringskosten	gld		X		
939990	Algemene kosten	gld		X		
949990	Winst en risico	gld		X		
95	STELPOST					
950010	Stelpost (10 %)	gld	3000,	X		
950020	Stelpost (5 %)	gld	7000,	X		
	Aannemingsom, de omzetbelasting niet inbegrepen					
	Gedaan te					
	De 19..					
	De inschrijver(s),					

Administratieve en technische standaardbepalingen

Een bestek bestaat uit de beschrijving van het werk en de daarbij behorende voorwaarden, de bestekbepalingen. Deze bepalingen zijn opgenomen in deel 3 van het bestek, genaamd de "Standaardbepalingen". De bepalingen kunnen naar hun aard worden verdeeld in administratieve bepalingen, zoals betalingsregelingen, risicoregelingen, etc. en technische bepalingen, zoals kwaliteitseisen, randvoorwaarden bij de uitvoeringsvoorwaarden, meetmethoden, etc.

Bepalingen met een algemeen karakter zijn ondergebracht in een boek, de Standaard 1985. In deel 3 van het bestek wordt deze Standaard 1985 van toepassing verklaard. Daarmee wordt tevens het juridisch kader aangegeven waarbinnen het werk wordt uitgevoerd.

In de Standaard wordt namelijk gesteld dat voor zover daar niet nadrukkelijk van wordt afgeweken van toepassing zijn, het Nederlands recht, de UAV en de Normbladen van de Stichting Nederlands Normalisatie-instituut (NEN-normen).

Door het van toepassing verklaren van de bepalingen in de Standaard 1985 wordt daarmee een hoofdstuk met administratieve en technische bepalingen in het bestek niet overbodig. Immers het kan nodig zijn van die algemene formuleringen af te wijken of aanvullingen te maken. In deel 3 van het bestek zijn daarom bepalingen opgenomen die expliciet zijn toegesneden op het uit te voeren werk.

Zo wordt bijvoorbeeld in de Standaard 1985 aangegeven dat in het bestek moet worden vermeld wat het loonkostenbestanddeel in de aanneemsom is in verband met de toegepaste risicoregeling.

Voorts staan er in de Standaard 1985 een aantal "indien-bepalingen": indien in het bestek niets naders is geregeld, gelden de bepalingen in de Standaard 1985. Het kan natuurlijk ook voorkomen dat voor het betreffende werk nog geen algemene bepalingen zijn geschreven, immers het hele systeem is nog in ontwikkeling. Dat geldt in het bijzonder voor de technische bepalingen.

Bovendien is het mogelijk dat de bepalingen inmiddels al weer verouderd zijn en dat daarom de behoefte wordt gevoeld nieuwe bepalingen in het bestek op te nemen.

Technische standaardbepalingen

De technische bepalingen hebben een zeer nauwe relatie met de resultaatsbeschrijvingen c.q. met de uitvoering van het door de opdrachtgever verlangde resultaat. Ze zijn te beschouwen als elkaars complement. Deze verwantschap komt duidelijk tot uiting doordat de technische bepalingen zijn ingedeeld in de zelfde werkcategoryën als de resultaatsbeschrijvingen. Op die manier zijn hoofdstukken ontstaan met technische bepalingen over grondwerken, bemalingen, etc.

Per hoofdstuk zijn in een uniforme volgorde technische bepalingen te vinden die zijn ingedeeld naar zeven aspecten. Het betreft:

- begrippen: afpaling en omschrijving van termen welke niet eenduidig zijn;
- eisen en uitvoering: randvoorwaarden voor de uitvoering en kwaliteitseisen aan het resultaat;

- informatie-overdracht: welke informatie moeten opdrachtgever en aannemer elkaar (tenminste) verstrekken;
- risicoverdeling en garanties: afpaling van verantwoordelijkheden bij de uitvoering;
- bijbehorende verplichtingen: werkzaamheden die ook tot de verplichtingen van de aannemer behoren
- bouwstoffen: kwaliteitseisen die aan bouwstoffen worden gesteld;
- meet- en verrekenmethoden: wijze van meting en verrekening van resultaat, activiteiten of bouwstoffen.

De structuur van de technische bepalingen is dus een sortering naar werkcategorieën en vervolgens een indeling in zeven hoofdstukken. De technische bepalingen vervangen de 2e, 3e en 4e afdeling van de uit 1938 stammende AV en van de daar op volgende AVW 1968.

De Standaard 1985 bevat tevens in de meeste wegenbouwbestekken van toepassing verklaarde Rijkswaterstaatsuitgaven, te weten de "Eisen voor bouwstoffen in de Wegenbouw 1978" (afgekort "Eisen 1978") en de "Voorschriften voor uitvoering en controle van wegverhardingen 1978" (afgekort "VUCW 1978").

Administratieve bepalingen

De administratieve bepalingen hebben niet zo'n nauwe relatie met de uitvoering van het verlangde resultaat als de technische bepalingen. De administratieve bepalingen hebben in het algemeen geen directe invloed op de wijze waarop een resultaat tot stand komt. Denk aan betalingsregelingen en dergelijke.

In het hoofdstuk "Algemene en administratieve bepalingen" is de volgende indeling gemaakt:

- algemene bepalingen;
- betalingsregelingen: aannemingssom;
- betalingsregelingen: overschrijdingen van verrekenbare hoeveelheden;
- betalingsregelingen: declaraties;
- betalingsregelingen: uitvoeringskosten;
- zekerheidsstelling;
- bijdragen;
- kabels en leidingen;
- vergunningen;
- verband met andere werken;
- verkeersmaatregelen;
- algemeen tijdschema, werkplan en dergelijke;
- bouwstoffen;
- ter beschikking te stellen werknemers en materieel;
- bankgarantie (model).

In het bestek wordt de UAV van toepassing verklaard. Op een aantal plaatsen wordt echter afgeweken van de UAV, op andere plaatsen wordt de UAV nader uitgewerkt. Uit praktische overwegingen (alles in één boek) is de UAV in de Standaard 1985 opgenomen.

3.1.5. De Algemene voorwaarden voor de uitvoering van werken 1968 (AVW 1968)

De AVW 1968 is de opvolger van de "Algemene Voorschriften voor de uitvoering en het onderhoud van werken onder beheer van het Departement van Waterstaat 1938" (AV 1938). De AV 1938 bestond uit vier afdelingen, waarvan de eerste de administratieve voorwaarden betrof en de laatste drie de technische voorschriften. Wegens de grote mate van veroudering is deze AV 1938 herzien in 1968. In dat jaar is echter alleen de eerste afdeling, dus het administratieve gedeelte, vervangen. Die gewijzigde eerste afdeling wordt aangeduid als "De Uniforme Administratieve Voorwaarden voor de uitvoering van werken" (UAV). Aldus bestaat de AVW 1968 uit vier afdelingen:

- Afdeling I : De Uniforme Administratieve Voorwaarden voor de uitvoering van werken (UAV);
- Afdeling II : Voorschriften omtrent de uitvoering van bouwwerken;
- Afdeling III : Voorschriften omtrent de uitvoering van waterbouwwerken;
- Afdeling IV : Voorschriften omtrent bouwstoffen.

De afgelopen jaren is in het kader van de werkzaamheden voor de standaardbestekken (SRW, RAW en STABU) gewerkt aan de vervanging van de 2e, 3e en 4e afdeling. Met het gereedkomen van genoemde standaardbestekken zijn die afdelingen van de AVW komen te vervallen, althans voor zover die standaardbestekken worden toegepast. In andere gevallen worden de genoemde afdelingen nog steeds van toepassing verklaard, zij het met een groot aantal aanvullingen en afwijkingen.

3.1.6. De Uniforme Administratieve Voorwaarden voor de uitvoering van werken" (UAV)

In de UAV zijn de rechten en plichten van de bij het werk betrokken partijen en hun positie ten opzichte van elkaar bepaald.

De UAV regelt wat het Burgerlijk Wetboek reeds regelde, maar zij treedt daarbij veel meer in details.

In de UAV worden achtereenvolgens behandeld:

- Hoofdstuk I - Algemene zaken, begripsomschrijvingen, bijvoorbeeld wat wordt onder het bestek verstaan;
- Hoofdstuk II - Vertegenwoordiging van partijen, daarin wordt de positie van de directie en de gevolmachtigde van de aannemer geregeld;
- Hoofdstuk III - De algemene verplichtingen van partijen;
- Hoofdstuk IV - Aanvang, uitvoeringsduur en oplevering;
- Hoofdstuk V - Wijziging tijdstippen van uitvoering, schorsing, beëindiging in onvoltooide staat;
- Hoofdstuk VI - Werkterrein en reclame;
- Hoofdstuk VII - Bouwstoffen;

- Hoofdstuk VIII - Hulpmiddelen;
- Hoofdstuk IX - Uitvoering;
- Hoofdstuk X - Meer en minder werk;
- Hoofdstuk XI - Betaling, omzetbelasting, kortingen, verpanding;
- Hoofdstuk XII - Schade aan het werk;
- Hoofdstuk XIII - In gebreke blijven, onvermogen of overlijden van één der partijen;
- Hoofdstuk XIV - Onvoorziene omstandigheden;
- Hoofdstuk XV - Vastlegging van de toestand, beslechting van geschillen.

3.1.7. Literatuur

AVW 1968

Algemene voorwaarden voor de uitvoering van werken 1968. Staatsuitgeverij, 's Gravenhage.

Bundel voorschriften op het gebied van de aanbesteding en de uitvoering van werken, 1975
Staatsuitgeverij, 's Gravenhage.

Grontmij, diverse jaren

Diverse bestekken. Grontmij, De Bilt.

Heidemij, diverse jaren.

Diverse bestekken. Heidemij, Arnhem.

Koning, H. de, 1986

Handboek voor de Grond-, Water- en Wegenbouw. VAGWW, Nieuwegein.

Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke ordening en Milieuhygiëne, 1980

BKI in kort bestek. Korte beschrijving van bouwkosten-informatiesystemen van het Ministerie van Volkshuisvesting en Ruimtelijke ordening; Werkwijze en verdere plannen. Ministerie van VROM, directie bouwnijverheid, 's Gravenhage.

Nieuwswaag, K.W. 1982

Naar een nationaal standaardbestek. In: 10 jaar RAW. Stichting RAW, Ede.

Nijenhuis, G.W., 1985

Bestekken, Begrotingen en Directievoering. Practicumhandleiding. Landbouwhogeschool, Vakgroep Cultuurtechniek, Wageningen.

Oord, J. van, 1982

Voorwoord. In: 10 jaar RAW. Stichting RAW, Ede.

Overleggroep Ordeningsthema's Aanbestedingswezen, 1982

Naar een ordening op de bouwmarkt. Staatsuitgeverij, 's Gravenhage.

Praktijkboek Onroerend Goed, z.j.

Losbladige delen met supplementen. Kluwer, Deventer.

Stichting RAW, 1973

Uitgangspunten voor een besteks- en informatiesystematiek voor de Grond-, Water- en Wegenbouw. Stichting RAW, Ede.

Stichting RAW, vanaf 1975

Bulletin. Stichting RAW, Ede.

Stichting RAW, 1975

Aanbevelingen voor de informatieverzorging van werken in uitvoering. Stichting RAW, Ede.

Stichting RAW, 1979

RAW in kort bestek. Stichting RAW, Ede.

Stichting RAW, jaarlijkse uitgave

Jaarverslag. Stichting RAW, Ede.

Stichting RAW, diverse jaren

Bestekspostencatalogi. Stichting RAW, Ede.

Stichting RAW, diverse jaren

Resultaatsbeschrijvingen en technische voorschriften. Stichting RAW, Ede.

- Stichting RAW, 1979
Voorlopige Standaard Bepalingen. Stichting RAW, Ede.
- Stichting RAW, 1982
10 jaar RAW. Stichting RAW, Ede.
- Stichting RAW, diverse jaren
Diverse bestekken. Stichting RAW, Ede.
- Stichting RAW, 1985
Standaard RAW Bepalingen (Standaard 1985). Stichting RAW, Ede.
- UAR, 1986
Uniform aanbestedingsreglement 1986, Staatsuitgeverij, 's Gravenhage.
- UAV, 1968.
Uniforme administratieve voorwaarden voor de uitvoering van werken. Staatsuitgeverij, 's Gravenhage.
- Wijngaarden, M.A. van, 1984
Hoofdstukken Bouwrecht. Tjeenk Willink, Zwolle.
- Zonderland, P., 1968
Cremers' Bouwrecht. S. Gouda Quint - D. Brouwer en Zoon, Arnhem.
- Zijlstra, J.O., 1987
Bestekken in de Grond-, Water- en Wegenbouw. Stichting RAW, Ede.

3.2. Begrotingen ten behoeve van landinrichtingsprojecten

3.2.1. Inleiding

Bij het opstellen van een begroting zijn onder meer de volgende vragen van belang:

- wat is een begroting;
- waarom worden begrotingen opgesteld;
- welke soorten begrotingen zijn er;
- welke eisen worden aan een begroting gesteld;
- wat zijn kosten;
- op welke manier worden kosten gerubriceerd;
- hoe worden kosten berekend;
- welke gegevens zijn er nodig;
- welke gegevensbestanden zijn er beschikbaar;
- welke hulpmiddelen worden er gebruikt.

Op deze vragen is geen eenduidig antwoord te geven. Elke situatie is anders. De terminologie, de aard van het bouwproces en de samenstelling van de bij dat proces betrokkenen is bij een landinrichtingsproject anders dan bij de bouw van een ziekenhuis of het produceren van gloeilampen. In deze paragraaf zal bij het beantwoorden van bovenstaande vragen hoofdzakelijk worden aangesloten bij de praktijk van de cultuurtechniek. Van enkele begrippen met betrekking tot het opstellen van begrotingen wordt een korte omschrijving gegeven. Enkele begrippen worden voorzien van een wat meer uitgebreide toelichting.

3.2.2. Begripsomschrijvingen

- aanbiedingsprijs of inschrijvingsbedrag

Het bedrag, waarvoor de inschrijver zich bereid verklaart een werk tot stand te brengen. Dit bedrag is exclusief omzetbelasting. Het bedrag is het totaalbedrag van kostprijs, winst en risico.

Nadat het werk is gegund wordt de inschrijver de aannemer, het inschrijvingsbedrag de aannemingssom en de aanbesteder de opdrachtgever.

- aannemingssom of aanneemsom

Het bedrag, waarvoor de aannemer zich heeft verbonden het werk tot stand te brengen, de omzetbelasting daarin niet begrepen.

- begroten

Het berekenen van de kostprijs per onderdeel van het werk en van de prijs voor het totale werk.

- begroting

Een begroting is een overzicht van alle te maken kosten verbonden aan werkzaamheden en leveranties, welke nodig zijn om een bepaald werk uit te voeren.

Een begroting verstrekt informatie omtrent de totale kosten, terwijl zij tevens inzicht geeft in de opbouw van die kosten.

De begrippen begroting en raming worden vaak als synoniemen gebruikt. In de praktijk van de cultuurtechniek wordt onder een raming echter dikwijls een kostenoverzicht verstaan dat wat globaler, minder goed onderbouwd en wat minder definitief is dan een begroting. Dat wordt nog versterkt door toevoeging van de woorden globaal en definitief: globale kostenraming en definitieve kostenbegroting.

- inschrijvingsbegroting

Begroting die tot doel heeft te komen tot een verantwoord inschrijvingsbedrag. In tabel 3.2.1 is de opbouw van een inschrijvingsbegroting weergegeven volgens het systeem dat is ontwikkeld door de Stichting Rationalisatie en Automatisering Grond-, Water-, en Wegenbouw (RAW) te Ede. Voor meer informatie hierover zie ook hfdst. V. 3.1.

(Per 1 juni 1987 is de Stichting RAW gefuseerd met het Studie Centrum Wegenbouw (SCW) en het Studiecentrum Verkeerstechniek (SVT) tot het nieuwe Centrum voor regelgeving en onderzoek in de Grond-, Water- en Wegenbouw en de Verkeerstechniek (C.R.O.W.)

- open begroting

Een per onderdeel gespecificeerde kostenopgave waarvan het eindbedrag als aanneemsom wordt beschouwd.

- uitvoeringsbegroting, werkbegroting

De gedetailleerde in werkonderdelen, kostencategorieën en kostensoorten gesplitste interne begroting, gebaseerd op de geplande uitvoering. De uitvoeringsbegroting heeft een taakstellend karakter: alleen de noodzakelijk te maken kosten worden opgenomen.

- kosten, kostprijs

Het geven van een definitie van "kosten" en "kostprijs" is een wat hachelijke zaak omdat de in omloop zijnde definities nogal verschillen. Kostprijs-theoretische definities sluiten vaak niet goed aan bij datgene wat men "in de praktijk van de cultuurtechniek" denkt bij die begrippen. Veel kostprijstheorieën zijn ontwikkeld voor de industrie en zijn afkomstig uit Amerika en soms aangepast voor Nederlandse omstandigheden. In deze paragraaf worden arbitraire keuzen gemaakt.

Veel economen stellen dat slechte planning en organisatie, onvoldoende leiding en instructie, slordigheid en dergelijke leidt tot verspilling van tijd en materialen en dus van geld. Dergelijke verspillingen mogen kostprijs-theoretisch geredeneerd niet tot de kosten worden gerekend.

In de lijn van die theorie is een definitie van kosten: "kosten zijn de offers, welke een bedrijfshuishouding voor de vervaardiging van haar produkt of verlening van haar diensten noodzakelijk moet brengen". (Let daarbij op het woord "noodzakelijk").

Tabel 3.2.1. Overzicht inschrijvingsbegroting volgens het RAW-systeem. (Bron: RAW)

BESTEKS- POST NUMMER	OMSCHRIJVING	E E N H.	HOEVEEL- HEID RE- SULTAATS- VERPLICHTING	V	NV	PRIJS PER EENH. IN GULDENS	TOTAAL BEDRAG IN GULDENS
kode	Resultaatsverplichting 1	m³	— — —	x			
kode	Resultaatsverplichting 2	m³	— — —		x		
enz.	enz.						
	SUBTOTAAL — — — — —					f	— — —
9	<u>STAARTKOSTEN</u>						
91	EENMALIGE KOSTEN, GESPECIFICEERD ALS VOLGT:						
910010	 f						
910020	 f						
910030	 f						
910040	 f						
918880	OVERIGE EENMALIGE KOSTEN f						
919990	TOTAAL EENMALIGE KOSTEN	GLD			x		
929990	UITVOERINGSKOSTEN	GLD			x		
939990	ALGEMENE KOSTEN	GLD			x		
949990	WINST EN RISIKO	GLD			x		
95	STELPOST						
950010	STELPOST	GLD		x			
	AANNEMINGSSOM, OMZETBELASTING DAARIN NIET INBEGREPEN		— — — — —			f	== ==

Die offers bestaan uit het gebruiken van arbeidskrachten, grondstoffen, kapitaalgoederen en ondernemersactiviteit. Met andere woorden: kosten ontstaan door het opofferen van produktiemiddelen. Niet-noodzakelijke offers zijn geen kosten, maar verspillingen. Aan-nemend dat voor alle offers uitgaven worden gedaan, betekent het bovenstaande, dat niet alle uitgaven kosten zijn.

Onder de kostprijs van een object van produktie verstaat men dan: "de kostprijs is de som van de in geld uitgedrukte offers, die voor dat object noodzakelijkerwijze moeten worden gebracht door een gegeven bedrijfshuishouding".

Het verschil tussen "kosten" en "verspillingen" is in de praktijk vaak moeilijk aan te geven. Daarom werkt men niet veel met deze theoretische definities. In het dagelijks spraakgebruik worden alle "uitgaven" ten behoeve van een bepaald project kosten genoemd. De kostprijs is dan de som van alle uitgaven, zonder daarbij een onderscheid te maken tussen de wel en niet economisch rationele bestedingen. Met andere woorden: alle uitgaven zijn kosten.

De kostprijsberekening wordt gebaseerd op een "normale produktie". Niet iedereen verstaat onder een normale produktie hetzelfde. Volgens één van de definities verstaat men daaronder: *"een produktie overeenkomstig goede bedrijfseconomische normen of regels, zoals die in een gegeven periode voor het betrokken bedrijf kunnen gelden"*.

Dit houdt in dat fouten, onregelmatigheden en risico's als kosten worden aanvaard, voor zover ze bij een goede, binnen het bedrijf te verwelijken organisatie en leiding niet vermeden kunnen worden.

Een in de praktijk gehanteerde definitie van "bewerkingstijd" is: *"de tijd die nodig is om een bepaalde bewerking onder de te verwachten omstandigheden uit te voeren, uitgaande van een bepaalde werkmethode."*

In de praktijk wordt bij het opstellen van de besteksbegroting voor de opdrachtgever wel eens rekening gehouden met de marktverhoudingen op dat moment. Wordt onder aannemers veel concurrentie verwacht, dan wordt een lager bedrag begroot, bij weinig "werk-honger" wordt gerekend op een hogere inschrijfsom.

Het moge duidelijk zijn geworden dat dit begrotingstechnisch niet juist is, immers de kostprijs gebaseerd op een normale produktie verandert niet, wel de verlangde winst c.q. het te accepteren verlies.

Uit het bovenstaande moge blijken dat het exact aangeven van wat kosten zijn op bedrijfsniveau niet eenvoudig is. Dat geldt ook bij landinrichtingsprojecten voor berekeningen op lokaal, regionaal of nationaal niveau. Welke uitgaven moeten wel en welke niet worden opgenomen in de kosten- en batenoverzichten? Moeten bijvoorbeeld de salarissen van ambtenaren van de Landinrichtingsdienst wel of niet tot de projectkosten worden gerekend? Gebruikelijk is om die kosten niet mee te rekenen. Evenmin worden meegerekend de kosten van externe adviseurs tijdens de voorbereidingsfase. De kosten voor het directievoeren tijdens de uitvoering worden echter wel tot de projectkosten gerekend.

Nog ingewikkelder wordt het bij de kosten-batenanalyse volgens de HELP-methode (Herziening Evaluatie Landinrichtingsprojecten). Daarbij worden niet alle projectkosten meegerekend, doch alleen de "relevante kosten", waarvan worden afgetrokken de "autonome kosten" (zie hfdst. IV. 5).

- objectkosten

Objectkosten zijn onder te verdelen in stichtingskosten en exploitatiekosten. Bij stichtingskosten is een indeling te maken in:

- . plankosten;
- . grondverwervingskosten;
- . inrichtingskosten.

De exploitatiekosten zijn het gevolg van:

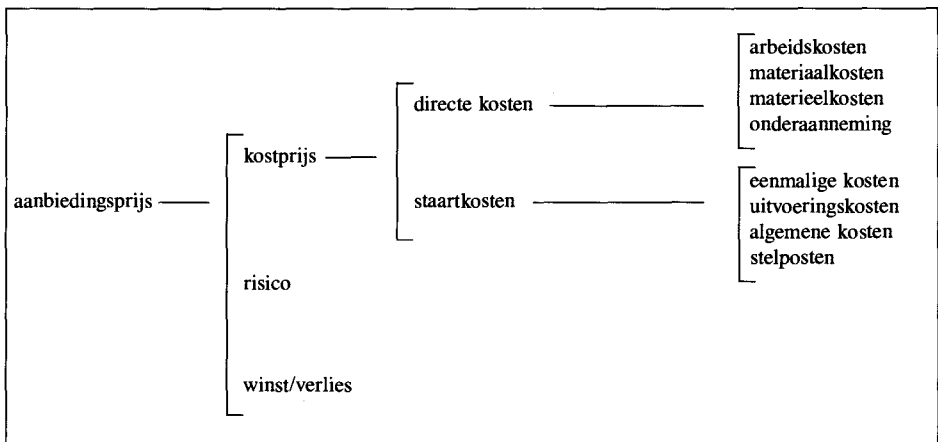
- . stichtingskosten in verband met rente en afschrijving;
- . beheerskosten;
- . onderhoudskosten;
- . belastingen.

In deze paragraaf wordt vooral aandacht besteed aan die kosten, welke vallen onder de rubriek inrichtingskosten.

- kostensoorten

In de kostprijsberekening voor werken op het gebied van de grond-, wegen- en waterbouw worden in het RAW-systeem de volgende kosten- soorten onderscheiden:

- . directe arbeidskosten;
- . directe materiaalkosten;
- . directe materieelkosten;
- . kosten van onderaanneming;
- . staartkosten (algemene kosten, uitvoeringskosten en eenmalige kosten)



Figuur 3.2.1. Overzicht kostensoorten volgens het RAW-systeem.

DIRECTE KOSTEN

Directe kosten zijn projectgebonden kosten, waarvan kan worden vastgesteld dat ze voor het project worden gemaakt en wat de hoogte ervan is. Voorbeelden zijn huur materieel, lonen en aankopen. De som van de directe kosten wordt wel aangeduid met "kale kosten". In figuur 3.2.1 zijn de kostensoorten gerubriceerd weergegeven.

DIRECTE ARBEIDSKOSTEN

Directe arbeidskosten zijn de kosten die door een aannemer gemaakt worden om gedurende een zekere tijd over de arbeidskracht van anderen te kunnen beschikken tegen betaling van loon.

DIRECTE MATERIAALKOSTEN

Directe materiaalkosten zijn de kosten die door een aannemer moeten worden gemaakt om te kunnen beschikken over de te verwerken grondstoffen, bouwmaterialen, halffabrikaten en hulpmaterialen om het werk te kunnen uitvoeren.

DIRECTE MATERIEELKOSTEN

Directe materieelkosten zijn de kosten die door een aannemer moeten worden gemaakt om te kunnen beschikken over de voor het werk noodzakelijke duurzame produktiemiddelen. Dat zijn produktiemiddelen die bij het bouwproces meermalen kunnen worden gebruikt. Materieel kan worden onderverdeeld in groot materieel (zoals bulldozers), hulpmaterieel (zoals rijplaten) en gereedschappen (zoals hamers).

De materieelkosten kunnen ook worden ingedeeld in vaste kosten en variabele kosten. De omvang van de vaste kosten is onafhankelijk van het feit of het desbetreffende materieel wel of niet wordt gebruikt. Tussen deze kosten en de geleverde prestatie bestaat geen rechtstreeks verband. Tot de vaste kosten kunnen worden gerekend afschrijving, rentekosten, opslag en verzekeringen.

De variabele kosten zijn wel afhankelijk van het gebruik. Deze kosten zijn in grote lijnen evenredig met de geleverde prestatie. Tot de variabele kosten kunnen worden gerekend loon en sociale lasten van het bedieningspersoneel, onderhouds- en reparatiekosten, energiekosten, en smeermiddelen.

ONDERAANNEMING

De kosten die een aannemer moet maken om bij het tot stand komen van een of meer werkonderdelen verzekerd te kunnen zijn van de diensten van een of meerdere onderaannemers. De kosten worden gerekend tot de directe kosten.

STAARTKOSTEN

Aan het eind van de begroting (de staart) komen in de begroting kostenposten te staan die van systeem tot systeem verschillend zijn. In het RAW-systeem vallen daaronder eenmalige kosten, uitvoeringskosten, algemene kosten, winst en risico en stelposten.

EENMALIGE KOSTEN

Onder eenmalige kosten verstaat men de kosten die verband houden met het werk, doch niet evenredig toe- of afnemen met de omvang van het werk. Voorbeelden daarvan zijn het aan- en afvoeren van materieel en het inrichten van de bouwplaats.

UITVOERINGSKOSTEN

Uitvoeringskosten vormen de kostengroep, waarin de indirecte kosten verbonden aan de organisatie van het werk zijn opgenomen. Deze kosten zijn meestal afhankelijk van de tijdsduur van het werk. Tot deze kosten worden gerekend de arbeidskosten van uitvoerders, uitzetters en veelal ook de exploitatiekosten van uitvoerdersverblijven.

ALGEMENE KOSTEN

Indirecte kosten, algemene kosten of overheadkosten zijn kosten waarvan in het algemeen de rechtstreekse relatie met het project ontbreekt, maar die wel aan het project moeten worden toegerekend.

Voorbeelden zijn de kosten van bedrijfsleiding, kantoor, tekenkamer, magazijn, research enz. De algemene kosten worden meestal als een percentage van de directe kosten toegerekend aan de individuele werken en aangeduid als "opslagpercentage".

STELPOSTEN

Stelposten zijn veelal in bestekken opgenomen geldbedragen, bestemd voor het uitvoeren van werkzaamheden welke tijdens de aanbesteding nog niet nauwkeurig zijn omschreven. Ook worden stelposten als materieel- of arbeidskosten opgenomen. In dat geval is in de staat van verrekenbare hoeveelheden een aantal uren opgenomen, waarin een bepaald stuk materieel, danwel gekwalificeerd personeel ter beschikking gesteld dient te worden.

RISICO

Een aannemer loopt tijdens de uitvoering van een werk risico's. Bij de uitvoering van werken in de sector van de Grond-, Water- en Wegenbouw (GWW) kunnen de volgende risicogroepen worden onderscheiden:

- . hoeveelheidsrisico's als gevolg van onvoorspelbare omstandigheden, onvolledige besteksinformatie en afwijkingen tussen werkmethode en de verrekeningsbasis;
- . prijsrisico's als gevolg van prijsstijgingen gedurende de uitvoeringsperiode van het werk;
- . risico's als gevolg van slecht weer;
- . aansprakelijkheid voor de ondeugdelijkheid van het werk;
- . risico's uit hoofde van zijn ondernemerschap, zoals wettelijke aansprakelijkheid voor onrechtmatige handelingen van zijn personeel.

- *tarief*

Kostprijs per eenheid van tijd (uur, dag, week) inclusief overhead. Deze prijzen worden ook wel aangeduid als voorberekend tarief. Zo worden bijvoorbeeld onderscheiden voorberekend manuur en uurtarieven voor machines.

- *verrekenprijs*

Met de opdrachtgever overeengekomen eenheidsprijs "all in", waarin alle met de betreffende prestatie verband houdende kosten zijn begrepen, dus directe kosten, algemene kosten, winst en risico. Normaal is de omzetbelasting (BTW) daar niet bij inbegrepen. In het RAW-systeem is de definitie als volgt: Verrekenprijzen, bedoeld in par. 39, lid 1 van de Uniforme Administratieve Voorwaarden voor de Uitvoering van Werken (UAV), zijn de prijzen per eenheid zoals deze zijn vermeld in de ontleding van de aanneemsom, verhoogd met het percentage dat het aandeel uitdrukt dat de som van de posten "algemene kosten", en "winst en risico" uitmaakt van het subtotale.

3.2.3. Waarom worden begrotingen opgesteld?

Ten behoeve van een verantwoorde besluitvorming dienen de bij het project betrokkenen te beschikken over betrouwbare gegevens ten aanzien van de effecten van de voorgenomen maatregelen. Het zo goed mogelijk voorspellen van kosten en baten is daarbij van groot belang.

Een begroting kan goede diensten bewijzen bij:

- het bepalen van de rentabiliteit;
- het afwegen van alternatieven;
- het verwerven van de nodige kredieten;
- het beoordelen van de kredietaanvragen;
- het beoordelen of een project al dan niet in stemming wordt gebracht;
- de uiteindelijke beslissing over het al dan niet uitvoeren.

Voor landinrichtingsprojecten worden behalve de in geld uit te drukken kosten en baten ook kwalitatieve aspecten ingeschat. Op grond van de berekening van kosten en baten kunnen indien nodig en mogelijk plannen worden bijgesteld. Eén en ander wordt wel aangeduid met evaluerend ontwerpen.

De eisen met betrekking tot nauwkeurigheid en detaillering welke aan een begroting worden gesteld zijn mede afhankelijk van het doel waarvoor de begroting wordt opgesteld. Indien bijvoorbeeld een plan nog in een beginstadium is, kan in het algemeen worden volstaan met een vrij globale, voorlopige begroting. Voor een (vrijwel) definitief plan wordt de begroting tot in detail uitgewerkt. Voorts heeft de een behoefte aan alle detailinformatie, terwijl de ander alleen de samenvatting wil zien.

Een aannemer heeft met betrekking tot landinrichtingsprojecten andere belangen dan de overheid of een boer. Voorts is bijvoorbeeld de directeur van een aannemingsbedrijf in andere cijfers geïnteresseerd dan de uitvoerder op het werk. De inspecteur van de Landinrichtingsdienst heeft andere belangen dan de burgemeester van de gemeente die moet bijdragen in de kosten van het niet gesubsidieerde deel.

Gevolg is dat voor elk project in de loop van de tijd vele begrotingen worden opgesteld voor verschillende doelgroepen en voor diverse doeleinden. Ook nadat het project is uitgevoerd worden er nog kostenoverzichten samengesteld om raming en werkelijkheid met elkaar te kunnen vergelijken.

Hier volgt een - niet volledig - lijstje met kostenoverzichten:

Door/voor opdrachtgever, overheid, ingenieursbureau:

- globale kostenraming;
- kostenraming, moederbegroting, stemmingsbegroting;
- besteksbegroting, aanbestedingsbegroting;
- weekrapporten;
- eindafrekening.

Door/voor aannemer:

- inschrijvingsbegroting, regiebegroting, open begroting;
- uitvoeringsbegroting, werkbegroting;
- termijnbegroting;
- voortgangsrapporten;
- nacalculaties.

Van de kostenoverzichten worden soms meerdere versies gemaakt voordat de definitieve versie gereed is.

Landinrichtingsprojecten worden naar de wijze van subsidiëring door de Landinrichtingsdienst, ingedeeld in 3 categorieën, namelijk A1-, A2- en A3-werken.

A1-werken zijn de werken in ruilverkavelingsverband;

A2-werken zijn de gemeente- en waterschapswerken;

A3-werken zijn de particuliere cultuurtechnische werken.

A1-werken

In het stadium van de deeladviezen worden alleen zeer globale kostenramingen opgesteld. Deze deeladviezen zijn het landbouwstructuuradvies, het advies openluchtrecreatie, het NWC-advies en het advies landschapsbouw. Van deze adviezen wordt het landbouwstructuuradvies financieel het meest onderbouwd.

Na het uitbrengen van de deeladviezen worden in het kader van de Landinrichtingswet 1985 de volgende plannen met bijbehorende begrotingen opgesteld:

- het schetsontwerp met een globale begroting;
- het voorontwerp-plan met een begroting;
- het ontwerp-plan met een begroting;
- het plan met een gedetailleerde begroting, ook wel eens moederbegroting genoemd.

Nadat het besluit tot uitvoering van het landinrichtingsplan is genomen, worden in de uitvoeringsfase gedetailleerde plannen gemaakt voor onderdelen van het project. Het werk wordt meestal omschreven in bestekken, soms in wat minder gedetailleerde werkschrijvingen. Bij het bestek wordt een besteksbegroting gemaakt. Soms wordt vlak voor de aanbesteding nog een aanbestedingsbegroting gemaakt, waarin de meest recente kostprijsveranderingen zijn opgenomen en eventueel rekening wordt gehouden met de marktverhoudingen op dat moment.

Uitvoering vindt plaats na één van de volgende manieren van prijsvorming:

- openbare aanbesteding;
- openbare aanbesteding na voorafgaande selectie;
- onderhandse aanbesteding;
- onderhandse aanbesteding na voorafgaande selectie;
- enkelvoudige uitnodiging.

A2-werken

De procedure voor A2-werken is wat eenvoudiger. Ook hier doorloopt de planvorming een aantal stadia. Ten behoeve van de beoordeling door de Landinrichtingsdienst kan in de regel worden volstaan met het indienen van een plan met begroting, later uitgewerkt in besteksvorm met bijbehorende besteksbegroting.

A3-werken

De procedure voor A3-werken is aanzienlijk eenvoudiger dan die van de A1- en A2-werken. De Landinrichtingsdienst verlangt ten behoeve van de beoordeling slechts een bij de subsidieaanvraag behorende eenvoudige omschrijving van het werk en een begroting.

3.2.4. Rubricering van kosten

Kosten hebben niet alle dezelfde aard en zij staan in verschillende verhouding tot het produkt waarvoor de begroting wordt opgesteld. De kosten kunnen vanuit verschillende gezichtspunten worden gerubriceerd. In de praktijk bestaan er diverse indelingen. Per bedrijfstak en soms per bedrijf bestaan er verschillen. Ook treden in de loop van de tijd per project veranderingen op. Zo kent men in de sector van de Grond-, Water- en Wegbouw (GWW) andere rubriceringen en andere benamingen dan in de sector van de Bouwkunde en Utiliteitswerken (B en U).

In de GWW-sector bestaan bij de cultuurmaatschappijen en de Landinrichtingsdienst naast de nieuwe indeling volgens het RAW-systeem eigen, reeds lang bestaande indelingen. Deels zijn het principieel andere indelingen, deels zijn het alleen andere benamingen voor dezelfde zaken. De verwachting is dat de RAW-systematiek over enige jaren de andere indelingen grotendeels zal hebben vervangen.

Bij alle indelingen is de vraag van belang, wat de kleinste eenheid is waarvan men de kosten wil bepalen. Gaat het bijvoorbeeld om de prijs van een m³ grond ontgraven uit waterloop A, de totale kosten per m¹ van waterloop A, de prijs van het grondwerk per m³ van alle wegen en waterlopen of de prijs per hectare van alle werkzaamheden?

Het Bouwkosteninformatie-systeem (BKI) voor de bouw onderscheidt in de volgorde van "grof naar fijn": hoofdelementengroep, hoofdelement, sub-elementengroep, subelement, calculatie-elementengroep, calculatie-element en tenslotte de samenstellende middelen.

De RAW heeft als indeling werkcategorie, subwerkcategorie en resultaatsverplichting. De Landinrichtingsdienst maakt een indeling naar soort werk, zoals verbetering verkaveling en waterbeheersing. De begroting wordt opgebouwd uit 18 rubrieken zoals opruimingswerk, grondverzet en drainage. Elke rubriek is opgebouwd uit groepen zoals opruimen afrasteringen en opruimen duikers. Binnen de groepen worden subgroepen onderscheiden zoals grondtransport over een afstand van 10 - 200 m en 200 - 400 m. Als eenheden voor de subgroepen gelden onder andere ha, m³, m², m¹ en stuks. De subgroepen zijn nog verder onderverdeeld in werkonderdelen.

De Landinrichtingsdienst heeft een lijst samengesteld met werkzaamheden die in landinrichtingsprojecten voorkomen, de zogenaamde "keuzelijst" met bijbehorende "standaardeenheden". Hiervoor worden periodiek "standaard-eenhedsprijzen" berekend.

Behalve de bovenstaande rubricering naar soort werk zijn andere dwars- doorsneden van de kosten te maken:

- naar kostensoorten, bijvoorbeeld arbeid, materieel, materiaal, onderaanneming "staartkosten" (bijvoorbeeld bestaande uit eenmalige kosten, uitvoeringskosten en algemene kosten);
- in relatie tot het produktievolume variabele kosten en vaste kosten;
- in relatie tot de samenhang met het produkt direkte kosten en indirecte kosten.

3.2.5. Hoe worden kosten bepaald?

De manier waarop en de nauwkeurigheid waarmee een begroting wordt opgesteld is afhankelijk van het doel waarvoor een begroting wordt opgesteld en de gegevens die beschikbaar zijn.

Een algemene stelregel bij het opzetten van begrotingen is dat gewerkt wordt van groot naar klein en van algemeen naar bijzonder. Een andere regel is dat niet gedetailleerder wordt begroot dan noodzakelijk is voor het behalen van een optimaal rendement daarvan. Immers ook het opstellen van een begroting kost tijd en dus geld.

Het begroten vergt een nauwgezette arbeid, systematisch verzamelen van gegevens en het vermogen om het uitvoeringsproces te doordenken. Om een goede begroting van een werk te kunnen maken is het nodig dat van het te maken werk bekend is:

- wat, inclusief waarvan;
- waar;
- wanneer;
- hoe, waarmee en
- door wie één en ander gemaakt moet worden.

Om het "wat" en het "hoe" vast te stellen wordt het werk systematisch geanalyseerd. Daaronder wordt verstaan het oordeelkundig ontleden in samenstellende onderdelen. Vervolgens wordt een staat van hoeveelheden opgesteld, voor zover dat al niet door anderen, zoals een besteks-redacteur is gedaan. Een keuze van de werkmethode geeft vervolgens antwoord op de vraag hoe en waarmee het werk wordt gemaakt.

Het bepalen van de tijdsduur is een essentieel onderdeel van een kostenraming. De bewerkingstijd per eenheid (m^2 , ha etc), wordt bepaald door het raadplegen van één of meerdere bronnen. Iedere calculator heeft daartoe een bestand. Een deel daarvan is voor een ieder toegankelijk. Echter een belangrijk deel is dat niet. Dat soort gegevens wordt als een stuk vertrouwelijk bedrijfskapitaal beschouwd.

Als voorbeelden van bronnen met bewerkingstijden per eenheid zijn te noemen:

- gegevens uit een archief met nacalculaties van vergelijkbare projecten;
- vergelijkbare begrotingen;

- tijdnormen uit andere gegevensbestanden, zoals:
 - . IMAG-taaktijden, onder andere voor groenvoorzieningen;
 - . Heidemijvademecum;
 - . Overzicht standaardeenheidsprijzen van de Landinrichtingsdienst;
 - . Bouwkosten, uitgegeven door MISSET;
- schattingen.

Voorbeelden van gegevensbestanden met prijzen per uur zijn:

- Overzicht standaardeenheidsprijzen van de Landinrichtingsdienst;
- adviesprijzen van de Bond van Agrarische Loonbedrijven (BOVAL);
- offertes van aannemingsbedrijven en verhuurbedrijven;
- Kostennormen voor aannemersmaterieel, van het NIVAG (Nieuwe Vereniging van Aannemers Grootbedrijf).

De kosten voor materieel vormen een belangrijk deel van de begroting.

Uitgebreide berekeningen voor diverse machines zijn te vinden in het door de NIVAG opgestelde "Kostennormen voor aannemersmaterieel". Door de Vereniging van Aannemers Grond-, Water- en Wegenbouw (VAGWW) is een vereenvoudigd model voor kosten-calcuatie van machines ontwikkeld. Hiervoor wordt verwezen naar het "Handboek voor de grond-, water- en wegenbouw" (*Vereniging van Aannemers Grond-, Water- en Wegenbouw*, 1986).

Voorbeelden van gegevensbestanden met materiaalprijzen zijn:

- COBOUW, vakdagblad voor de Bouwwereld;
- Overzicht standaardeenheidsprijzen van de Landinrichtingsdienst;
- offertes van leveranciers.

Bij het opstellen van de begroting voor een werk worden de volgende stappen doorlopen:

- bepaling van de staat van hoeveelheden;
- bepaling van werkmethode en capaciteit;
- bepaling van de tijdsduur per onderdeel;
- bepaling van de kosten per tijdseenheid;
- bepaling van de kosten van leveranties;
- berekening van de "kale kosten", eenmalige kosten en uitvoeringskosten;
- vaststellen van winst, risico en kosten van aanbesteding;
- vaststellen van het eindbedrag ten behoeve van aanbesteding etc.

Bij het opstellen van een begroting moet worden gelet op een aantal kostenbeïnvloedende factoren.

De hoogte van de kosten is afhankelijk van enerzijds de gebruikswensen die vertaald worden in doelstellingen en programma van eisen. Daarbij is bijvoorbeeld te denken aan de breedte van een nieuwe weg en de verhardingsbreedte en eventuele additionele voorzieningen. Anderzijds worden de kosten bepaald door omgevingskenmerken die van invloed zijn op de technische uitvoerbaarheid. Daarbij valt te denken aan grondsoort, grondwaterstanden, aangrenzende bebouwing, storende elementen in de grond etc.

3.2.6. Hulpmiddelen bij het opstellen van begrotingen

Bij het opstellen van de begroting wordt een aantal hulpmiddelen gebruikt. Hierna zal aandacht worden besteed aan:

- begrotingsformulieren en checklisten;
- computerprogramma's;
- de keuzelijst voor landinrichtingsprojecten;
- standaardeenheidsprijzen.

Begrotingsformulieren en checklisten

Hoewel nog wel eens begrotingen "op de achterkant van een sigarenkistje" worden gemaakt, zijn tegenwoordig bij vrijwel iedereen die zich bezighoudt met het opstellen van begrotingen begrotingsformulieren in gebruik. Hoewel er wel enige standaardisatie is, zijn er vele vormen van in gebruik. Omdat bij het begroten gemakkelijk de kans bestaat dat er kostenposten worden vergeten, zijn er checklisten opgesteld. De hierna te bespreken keuzelijst landinrichting is ook als checklist te gebruiken.

Computerprogramma's

De computer is een veelgebruikt hulpmiddel bij het opstellen en bewaken van begrotingen. Vrijwel ieder bureau dat regelmatig op dat werkteerein bezig is, gebruikt computers en heeft daartoe programma's gekocht of zelf ontwikkeld.

Door de Landinrichtingsdienst is het programma TALIN ontwikkeld ten behoeve van de uniformering en automatisering van de begrotingsopzet en -bewaking. Vanaf augustus 1984 worden alle op te stellen begrotingen in TALIN ingevoerd. Met dit programma is het mogelijk langlopende projecten begrotingstechnisch voor te bereiden en gedurende de uitvoering te bewaken op hoeveelheden. Voorts kan continu worden beschikt over de stand van zaken betreffende hoeveelheden en financiën. Tevens worden afwijkingen ten gevolge van technische wijzigingen, planwijzigingen en loon- en prijsstijgingen geregistreerd.

Keuzelijst landinrichting

In onderling overleg tussen Landinrichtingsdienst en cultuurmaatschappijen is een lijst opgesteld met nagenoeg alle werkzaamheden die in landinrichtingsprojecten voorkomen met de bijbehorende eenheden, zoals m³ en ha. Deze lijst wordt de keuzelijst landinrichting genoemd. Voor een voorbeeld, zie tabel 3.2.2.

Het doel van het opstellen van de keuzelijst is het standaardiseren en uniformeren van in landinrichtingsprojecten te onderscheiden werkonderdelen, zowel tijdens de voorbereiding als tijdens de uitvoering.

Als afgeleide doelstelling beoogt deze lijst verder het verschaffen van:

- de basis voor gestandaardiseerde opzet van rijksbijdragebegrotingen;
- de basis voor besteks- en uitvoeringsbegrotingen;
- de basis voor budgetbewaking tijdens de uitvoering;
- de basis voor algemene normen van kostendocumentatie.

Tabel 3.2.2. Deel van Keuzelijst Landinrichting

LANDINRICHTINGSDIENST
OVERZICHT VAN DE RUBRIEKEN

CODE RUBRIEK	OMSCHRIJVING RUBRIEK	CODE RUBRIEK	OMSCHRIJVING RUBRIEK
10*	VOORBEREIDENDE WERKEN	36*	AANLEG VAN NUTSVOORZIENING
11*	UITZETWERK	36A	AANLEG NUTSVOORZ. BOERDERYV
12*	VERKEERSMAATREGELN	36B	AANLEG NUTSVOORZ. ZANDGROND
13*	BEMALINGEN	37*	VERLEGGEN NUTSVOORZIENING
14*	TUDELIJKE AFRASTERINGEN	39*	DIVERSEN LEIDINGWERK
15*	OPRUIMINGSWERK	40*	OEVER- EN BOUWWERKEN
16*	MAATREGELN TBV NUTSVOORZ.	41*	BODEM- EN TALUDVOORZIENING
17*	BODEMSANERING	42*	FUNDERINGEN
19*	DIVERSE VOORBEREID. WERKEN	43*	BETONWERK
43*	BETONWERK	44*	METALEN ONDERDELEN
20*	GRONDWERKEN	45*	HOUTEN ONDERDELEN
21*	GROND ONTGRAVEN	46*	GEMETSELDE ONDERDELEN
21A	GROND ONTGRAVEN ZANDGRONDEN	47*	INSTALLATIES
21B	GROND ONTGRAVEN KLEIGRONDEN	48*	KUNSTWERKEN
21C	GROND ONTGRAVEN DIEPVEENGR.	49*	DIVERSEN OEVER- EN BOUWWERK
21D	GROND ONTGR. EXTRA GEV. GR.		
22*	GROND VERVOEREN	50*	VERHARDINGEN
22A	GROND VERVOEREN ZANDGRONDEN	51*	WEGFUNDERING
22B	GROND VERVOEREN KLEIGRONDEN	52*	STABILISATIE
22C	GROND VERVOEREN DIEPVEENGR.	53*	BITUMINEUZE VERHARDING
22D	GROND VERV. EXTRA GEV. GR.	54*	BESTRATING
23*	GROND VERWERKEN	55*	CEMENTBETONVERHARDING
23A	GROND VERWERKEN ZANDGRONDEN	56*	SEMI-VERHARDING
23B	GROND VERWERKEN KLEIGRONDEN	59*	DIVERSEN VERHARDINGEN
23C	GROND VERWERKEN DIEPVEENGR.		
23D	GROND VERV. EXTRA. GEV. GR.	60*	GRONDVOORZIENINGEN
24*	BODEMPROFIELVERBETERING	61*	BEMESTEN
24A	BEZANDEN EN DRESSEN ZANDGR.	61A	BEMESTEN TBV BEPLANTINGEN
24B	BEZANDEN EN DRESSEN KLEIGR.	62*	INZAAIEN
24C	BEZANDEN EN DRESSEN VEENGR.	62A	INZAAIEN TBV LANDSCHAPSVERZ
25*	GRONDBEWERKING	63*	BEZODEN
26*	GRONDBEWERKING TBV BEPLANT.	64*	AANLEG BEPLANTING
26A	GRONDBEW. BEPLANT. ZAND/VEEN	64A	AANLEG BEPL. ZAND/VEENGROND
26B	GROND BEW. BEPLANT. KLEI	64B	AANLEG BEPL. KLEIGROND
29*	DIVERSEN GRONDWERKEN	64C	ERFBEPLANTINGEN
30*	LEIDINGWERK	65*	NAZORG GROENVOORZIENING
31*	DRAINAGE	65A	NAZORG GROENVOORZ. ZAND/VEEN
31A	DRAINAGE ZANDGRONDEN	65B	NAZORG GRONDVOORZ. KLEIGROND
31B	DRAINAGE KLEIGRONDEN	66*	ONDERHOUD GROENVOORZIENING
31C	DRAINAGE DIEPVEENGRONDEN	66A	ONDERH. GROENVOORZ. ZAND/VEEN
32*	DUIKERS	66B	ONDERH. GROENVOORZ. KLEIGROND
33*	RIOLERING	67A	AANKOOP MAT. TBV BEPLANTING
34*	DRUK- EN PERSLEIDING	67B	AANKOOP PLANTSOEN + "STAART"
35*	DOORPERSINGEN	69*	DIVERSEN GROENVOORZIENINGEN

1. OPRUIMINGSWERK

Hoofddeling		Eventuele onderverdeling		Kostenbepalende factoren	Standaard opbouw eenheidsprijs no.
Omschrijving	Eenheid	Omschrijving	Eenheid		
1. Bodem-, talud en oevervoorzieningen	m ³	1.1. Betuiningen 1.2. Beschoeiingen 1.3. Bekledingen 1.4. Bestortingen	m m m m		
2. Duikers	m	2.1. Betonbuizen tot Ø 600 mm 2.2. Betonbuizen tot Ø 600-1000 mm 2.3. Grotere betonbuizen 2.4. Heulen	m m m m	a. afvoeren b. ter plaatse begraven c. fundering/heikwerk d. afwerken terrein	

De bij de uitvoering van een landinrichtingsproject te onderscheiden werkzaamheden zijn gesplitst in rubrieken en per rubriek in werkonderdelen.

De primaire indeling in rubrieken moet als vast worden beschouwd. Deze indeling in rubrieken slaat op ontsluitingswerken, waterbeheersingswerken enz., met dien verstande dat niet in elke begroting alle rubrieken hoeven voor te komen. Bij elke rubriek is een hoofdingeling vermeld van de binnen die rubriek te onderscheiden werkonderdelen.

Afhankelijk van de gewenste c.q. noodzakelijke detaillering is voor elk werkonderdeel een eventuele onderverdeling aangegeven.

Zowel bij de hoofdingeling als bij de eventuele onderverdeling is vermeld in welke eenheid de hoeveelheden normaliter dienen te worden uitgedrukt. In 1984 is door de Landinrichtingsdienst tevens een keuzelijst gemaakt voor de in de RAW-catalogi genoemde werken. Naast een rubricering van de werken wordt in deze keuzelijst ook de relatie aangegeven tussen de hoofd- en deficode volgens het RAW-systeem en de code van de standaard-eenheden, zie tabel 3.2.3.

Standaardeenheidsprijzen

Ten behoeve van uniformiteit in de begrotingen worden sinds 1980 voor de hiervoor genoemde standaardeenheden begrotingsprijzen opgesteld, de zogenaamde standaardeenheidsprijzen. Bij de opstelling van deze prijzen wordt uitgegaan van gemiddelde omstandigheden en een reële vergoeding voor uitvoerend en administratief personeel, klein materieel, winst en risico. Marktinvoeden, met name die welke op korte termijn variabel zijn, worden voor zover mogelijk buiten beschouwing gelaten.

Omdat met name voor de onderdelen grondverzet, drainage en beplantingen, de bodemgesteldheid van doorslaggevende betekenis is voor de hoogte van de kosten, is voor dit onderdeel een onderscheid gemaakt naar grondsoort. Daarom is een onderscheid gemaakt in zandgronden, kleigronden, veengronden en extra structuurgevoelige gronden.

Aan het opstellen van de standaardeenheidsprijzen liggen gespecificeerde berekeningen ten grondslag. Voor het opstellen daarvan is kennis van werkmethoden, capaciteiten en huurprijzen van machines en van materiaalkosten onontbeerlijk. De standaardeenheidsprijzen worden bijgehouden door de Beheersgroep Standaardeenheidsprijzen, waarin de Landinrichtingsdienst, Heidemij, Grontmij, Oranjewoud en Staatsbosbeheer zitting hebben.

Jaarlijks, of zoveel vaker als omwille van evidente loon- en/of prijswijzigingen of gewijzigde uitvoeringsmethoden nodig wordt geacht, wordt een herziene uitgave van het Overzicht Standaardeenheidsprijzen geproduceerd en verspreid onder belanghebbenden. Tevens wordt de aangepaste samenvatting met alleen de standaardeenheidsprijzen verspreid (het groene boekje).

Zowel de specificatie als de samenvatting is verkrijgbaar bij de Landinrichtingsdienst, afdeling Cultuurtechniek te Utrecht.

Naast het overzicht met standaardeenheidsprijzen op grond van de indeling van de Landinrichtingsdienst is er met ingang van 1985 ook een lijst met standaardeenheidsprijzen op grond van de indeling volgens het RAW-systeem. Bij de opstelling van deze zogenaamde RAW-standaardeenheidsprijzen wordt de vergoeding voor uitvoerend en administratief

Tabel 3.2.3. Relatie tussen Keuzelijst Landinrichtingswerken en RAW-systeem.

Voorbeeld:

code Keuzelijst: 55*01*02*

deficode RAW : 31.03.01.111401 t/m 31.03.01.411401

(VERSIE 0 : JANUARI 1988)

RUBRIEK KEUZELIJST: 55
HOOFDKODE RAW : 31.03.01

CEMENTBETONVERHARDING
AANBRENGEN BETONVERHARDING -IN 1 LAAG- (M2)

ALGEMENE INFORMATIE : BETONMENGSEL, BETONKwalITEIT, BETONKLASSE EN CONSISTENTIE

WAPENING	BREEDTE	LAAGDIKTE					
		< 0,130 M	0,130 - 0,160 M	0,160 - 0,190 M	0,190 - 0,210 M	0,210 - 0,230 M	>= 0,230 M
ONGEWAPEND	< 2,0 M	111401	121401	131401	141401	151401	161401
	2,0 - 3,0 M	211401	221401	231401	241401	251401	261401
	3,0 - 4,0 M	311401	321401	331401	341401	351401	361401
	>= 4,0 M	411401	421401	431401	441401	451401	461401
KRIMPWAPENING	< 2,0 M	112401	122401	132401	142401	152401	162401
	2,0 - 3,0 M	212401	222401	232401	242401	252401	262401
	3,0 - 4,0 M	312401	322401	332401	342401	352401	362401
	>= 4,0 M	412401	422401	432401	442401	452401	462401
GEWAPEND	< 2,0 M	113401	123401	133401	143401	153401	163401
	2,0 - 3,0 M	213401	223401	233401	243401	253401	263401
	3,0 - 4,0 M	313401	323401	333401	343401	353401	363401
	>= 4,0 M	413401	423401	433401	443401	453401	463401

POSITIE 4 INHOUD 4 : KRIMPVEEG DOOR MIDDEL VAN PLASTIC-FOLIE, AANBRENGEN OM DE 4 M

POSITIE 5 INHOUD 1 : GEKOPPELDE LANGSVEEG, HDL-EN-DOL

INHOUD 2 : GEKOPPELDE LANGSVOEG, GEZAAGD

INHOUD 3 : GEKOPPELDE LANGSVOEG VOLGENS BESTEKSPOSTNR(S)

POSITIE 6 INHOUD 1 : BETONOPPERVLAK DPROUVEN DOOR MIDDEL VAN BEZEMEN

PROVINCIE	M3 BETON	PROVINCIE	M3 BETON
GRONINGEN	= 55*05*02* =	NOORD-HOLLAND	= 55*05*14* =
FRIESLAND	= 55*05*04* =	ZUID-HOLLAND	= 55*05*16* =
DRENTHE	= 55*05*06* =	ZEELAND	= 55*05*18* =
OVERIJSSSEL	= 55*05*08* =	NOORD-BRABANT	= 55*05*20* =
GELDERLAND	= 55*05*10* =	LIMBURG	= 55*05*22* =
UTRECHT	= 55*05*12* =	FLEVOLAND	= 55*05*24* =

SEP's "AANBRENGEN BETONVERHARDING"
ZIJN EXCLUSIEF LEVERING,
SEP's LEVERING VOLGENS
NEVENSTAANDE TABEL

RUBRIEK: 55 CEMENTBETONVERHARDING

AANBRENGEN BETONVERHARDING -IN 1 LAAG-

31.03.01

personeel, klein materieel, winst en risico niet in de standaardeenheidsprijzen verwerkt, maar als aparte staartposten in de begroting opgenomen.

De standaardeenheidsprijzen worden gebruikt voor het opstellen van de begroting voor het voorontwerp en het landinrichtingsplan in het kader van de Landinrichtingswet 1985 (c.q. het stemmingsrapport voor een ruilverkaveling in het kader van de ruilverkavelingswet 1954). Zij mogen zonder prijscorrecties, bijvoorbeeld voortvloeiend uit plaatselijke bijzondere omstandigheden, niet worden toegepast voor besteksbegrotingen en voor particuliere cultuurtechnische werken.

Hieronder volgen enkele gedeelten uit de Standaardeenheidsprijzen.

Eerst volgt een overzicht van de kosten van enkele opruimingswerkzaamheden, daarna van gehanteerde materieelkosten, vervolgens van de materiaalkosten en tenslotte een gedeelte van de specificatie van enkele standaardeenheidsprijzen.

Voorts wordt een voorbeeld bijgevoegd van een uit de woningbouw afkomstige begroting. In tegenstelling tot de GWW- sector waar het gebruikelijk is (standaard-) eenheidsprijzen te berekenen, is het in de bouwsector gebruikelijk om dat niet te doen, doch alle uren op te tellen.

Zie de tabellen 3.2.4 tot en met 3.2.8.

Tabel 3.2.4. Eenheidsprijzen opruimingswerk.

LANDINRICHTINGSDIENST				DATUM : 17 AUG 88		BLAD :
VERZICHT VAN DE STANDAARDEENHEIDSPRIJZEN 1 JANUARI 1988						
15* OPRUIMINGSWERK						
KODE	RAW-KODE	GROEP	SUBGROEP	EENH	S.E.P.	OMSCHRIJVING
15*01*02*	11.01.03.	BOUWERKEN	ONCWAPEBEN BETON	M3	68.00	EXCLUSIEF STORTGELD
15*01*04*	11.01.11.	-	WATERPUT (2 RINCEN)	ST	94.00	EXCLUSIEF STORTGELB
15*01*06*	11.01.12.	-	PUIN/VUILNIS	M3	17.25	EXCLUSIEF STORTGELB
15*01*08*	11.21.01.	-	MEISELWERK	M3	49.25	EXCLUSIEF STORTGELB
15*01*10*	11.22.01.	-	GEWAPENB BETON	M3	115.00	EXCLUSIEF STORTGELD
15*01*14*	11.24.01.	-	HOUT	M3	42.00	EXCLUSIEF STORTGELD
15*01*26*	-	-	WINNMOLEN	ST	600.00	EXCLUSIEF STORTGELB
15*05*02*	24.13.04.	BUIZEN GIETIJZER	< 400 MM AFVOEREN	M1	14.25	INCLUSIEF GRONDWERK EXCLUSIEF STORTGELD
15*05*04*	24.13.84.	-	400- 800 MM AFVOEREN	M1	18.00	INCLUSIEF GRONDWERK EXCLUSIEF STORTGELD
15*05*06*	24.13.04.	-	> 800 MM AFVOEREN	M1	38.00	INCLUSIEF GRONDWERK EXCLUSIEF STORTGELD
15*07*02*	24.14.01.	PUTTEN/KOLKEN	INSPECTIEPUT	ST	95.00	EXCLUSIEF STORTGELB
15*07*04*	24.14.02.	-	KBLK	ST	38.00	EXCLUSIEF STORTGELD
15*07*06*	24.14.03.	-	PUTRAND + DEKSEL	ST	18.75	EXCLUSIEF STORTGELD
15*09*02*	24.16.01.	BUIKER BETON/GRES	< 600 MM AFVOEREN	M1	15.75	INCLUSIEF GRONDWERK EXCLUSIEF STORTGELB
15*09*04*	24.16.01.	-	600-1000 MM AFVOEREN	M1	23.00	INCLUSIEF GRONDWERK EXCLUSIEF STORTGELD
15*09*06*	24.16.01.	-	> 1000 MM AFVOEREN	M1	35.00	INCLUSIEF GRONDWERK EXCLUSIEF STORTGELB
15*09*08*	24.16.01.	-	<2000X1000MM AFVOEREN	M1	52.00	INCLUSIEF GRONDWERK EXCLUSIEF STORTGELD
15*09*10*	24.16.01.	-	>2000X1000MM AFVOEREN	M1	91.00	INCLUSIEF GRONDWERK EXCLUSIEF STORTGELB
15*09*20*	24.16.01.	-	< 600 MM BEGRAVEN	M1	9.70	INCLUSIEF GRONDWERK
15*09*22*	24.16.01.	-	600-1000 MM BEGRAVEN	M1	16.75	INCLUSIEF GRONDWERK
15*09*24*	24.16.01.	-	> 1000 MM BEGRAVEN	M1	29.25	INCLUSIEF GRONDWERK
15*11*02*	24.16.02.	BUIKERS PVC	< 250 MM AFVOEREN	M1	8.20	INCLUSIEF GRONDWERK EXCLUSIEF STORTGELD
15*11*04*	24.16.02.	-	> 250 MM AFVOEREN	M1	12.00	INCLUSIEF GRONDWERK EXCLUSIEF STORTGELB
15*13*02*	24.16.03.	BUIKERS ASBEST	< 600 MM AFVOEREN	M1	15.25	INCLUSIEF GRONDWERK EXCLUSIEF STORTGELD
15*13*04*	24.16.03.	-	600-1100 MM AFVOEREN	M1	22.00	INCLUSIEF GRONDWERK EXCLUSIEF STORTGELD
15*13*06*	24.16.03.	-	> 1100 MM AFVOEREN	M1	33.75	INCLUSIEF GRONDWERK EXCLUSIEF STORTGELB
15*15*02*	24.16.04.	BUIKERS PLAATST.	< 700 MM AFVOEREN	M1	11.50	INCLUSIEF GRONDWERK EXCLUSIEF STORTGELD
15*15*04*	24.16.04.	-	> 700 MM AFVOEREN	M1	17.25	INCLUSIEF GRONDWERK EXCLUSIEF STORTGELB
15*15*06*	24.16.04.	-	< 3000 MM MEERPL. AFV.	M1	83.00	INCLUSIEF GRONDWERK EXCLUSIEF STORTGELB
15*15*08*	24.16.04.	-	> 3000 MM MEERPL. AFV.	M1	115.00	INCLUSIEF GRONDWERK EXCLUSIEF STORTGELB
15*21*02*	31.01.21.	VERHARDINGEN	FREEZEN GAS TV AANSL.	M2	13.25	EXCLUSIEF STORTGELD
15*21*08*	31.01.41*	-	ZAGEN WEGDEK CH/M1	M1	0.95	
15*30*02*	31.11.01.	BITUMEUZE VERHARD	ASFALT < 0.11M AFV.	M2	2.60	OPBREKEN EN AFVOEREN EXCLUSIEF STORTGELD
15*30*04*	31.11.01.	-	ASF. 0.11-0.22 M AFV.	M2	3.20	OPBREKEN EN AFVOEREN EXCLUSIEF STORTGELB
15*30*06*	31.11.01.	-	ASFALT > 0.22 M AFV.	M2	4.00	OPBREKEN EN AFVOEREN EXCLUSIEF STORTGELD
15*30*08*	31.11.01.	-	ASFALT < 0.11 M OPSL.	M2	1.95	OPBREKEN EN OPSLAAN EXCLUSIEF STORTGELB
15*30*10*	31.11.01.	-	ASF. 0.11-0.22M OPSL.	M2	2.45	OPBREKEN EN OPSLAAN EXCLUSIEF STORTGELD
15*30*12*	31.11.01.	-	ASFALT > 0.22M OPSL.	M2	3.00	OPBREKEN EN OPSLAAN EXCLUSIEF STORTGELD
15*30*14*	31.11.11.	-	OPBREKEN PENETRATIEL.	M2	2.70	OPBREKEN EN AFVOEREN EXCLUSIEF STORTGELB
15*33*02*	31.12.01.	CEMENTBETON VERH.	ONGEW. BET. < 0.12M AFV.	M2	3.00	OPBREKEN EN AFVOEREN EXCLUSIEF STORTGELD
15*33*04*	31.12.01.	-	ONGEW. 0.12-0.20M AFV.	M2	3.80	OPBREKEN EN AFVOEREN EXCLUSIEF STORTGELB
15*33*06*	31.12.01.	-	ONGEW. BET. > 0.20M AFV.	M2	4.60	OPBREKEN EN AFVOEREN EXCLUSIEF STORTGELD
15*33*08*	31.12.11.	-	GEW. BETON < 0.12M AFV.	M2	7.40	OPBREKEN EN AFVOEREN EXCLUSIEF STORTGELB
15*33*10*	31.12.11.	-	GEW. BET. 0.12-0.20 AFV.	M2	11.50	OPBREKEN EN AFVOEREN EXCLUSIEF STORTGELD
15*33*12*	31.12.11.	-	GEW. BETON > 0.20M AFV.	M2	17.25	OPBREKEN EN AFVOEREN EXCLUSIEF STORTGELB
15*33*14*	31.12.12.	-	GEW. BETONPLATEN AFV.	M2	3.60	OPNEMEN EN AFVOEREN EXCLUSIEF STORTGELD
15*33*16*	31.12.12.	-	GEW. BETONPLATEN OPSL.	M2	1.75	OPNEMEN EN AFVOEREN EXCLUSIEF STORTGELD
15*33*18*	31.12.21.	-	ONGEW < 0.12M BEUKEN	M2	2.40	BEUKEN EXCL. OPRUIMEN

Tabel 3.2.5. Overzicht van het materieel.

LANDINRICHTINGSDIENST										DATUM : 31 AUG 88		BLAD : 2	
OVERZICHT VAN DE MACHINES													
CODE MATERIEEL	RAWBB1		UUR	LOON	RAWBB1	BRAND	RAWBB1	OV.	OV.	OMSCHRIJVING			
	PRIJS	PRIJS									HEST.	BEST.	BEST.	KOSTEN	KOSTEN
D145 D-AGREG120	192.00			0.00		0.00		192.00		DIESELAGGREGAAT+POMP 60-120M3/UUR(KOSTEN/24UUR)			
D150 SNIJBRANDER	55.00			0.00		0.00		55.00		SNIJBRANDER INCL. BEDIENING			
D160 SNIJBRANDER	136.00			0.00		0.00		136.00		SNIJBRANDER INCL. BEDIENING ONDER WATER			
D230 MOTORAAG	42.31			0.00		0.00		42.31		MOTORAAG + BEDIENING			
D405 DRAGL. 600L	64.60			0.00		10.00		54.60		DRAGLINE 600 L			
D410 DRAGL. 800L	70.10			0.00		11.00		59.10		DRAGLINE 800 L			
D415 DRAGL. 1000L	80.10			0.00		12.00		68.10		DRAGLINE 1000 L			
D420 DRAGL. 1200L	95.00			0.00		15.00		80.00		DRAGLINE 1200 L			
D425 DRAGL. 1500L	107.30			0.00		22.00		85.30		DRAGLINE 1500L			
D430 DRAGL. 2000L	123.50			0.00		25.00		98.50		DRAGLINE 2000 L			
D510 DRAINM150+L	192.70			0.00		0.00		192.70		DRAINERMACHINE 150KW INCLUSIEF LASER			
D520 DRAINM200+L	235.52			0.00		0.00		235.52		DRAINERMACHINE 200KW INCLUSIEF LASER			
D608 DUMPER BM3	70.00			0.00		0.00		70.00		DUMPER ZELFRIJDEND 8.0 M3			
D610 DUMPER 10M3	80.00			0.00		0.00		80.00		DUMPER ZELFRIJDEND 10.0 M3			
D612 DUMPER 12M3	95.00			0.00		0.00		95.00		DUMPER ZELFRIJDEND 12.0 M3			
D700 TRILNAALD	36.00			35.00		0.00		1.00		TRILNAALD INCL. BEDIENING			
D710 ZUIG/PERSW.	125.00			0.00		0.00		125.00		ZUIG/PERSWAGEN			
H050 HEIST. KLEIN	200.00			0.00		0.00		200.00		HEISTELLING KLEIN INCL. BEDIENING			
H055 HEIST. KL. PO	275.00			0.00		0.00		275.00		HEISTELLING KLEIN INCL. BEDIENING OP PONTON			
H060 HEIST. MIDD.	225.00			0.00		0.00		225.00		HEISTELLING MIDDELGROOT INCL. BEDIENING			
H065 HEIST. M. PO	300.00			0.00		0.00		300.00		HEISTELLING MIDDELGROOT INCL. BEDIENING PONTON			
H070 HEIST. GROOT	250.00			0.00		0.00		250.00		HEISTELLING GROOT INCL. BEDIENING			
H075 HEIST. GR. PO	325.00			0.00		0.00		325.00		HEISTELLING GROOT INCL. BEDIENING OP PONTON			
H090 HGM+TRILRL.	80.00			0.00		0.00		80.00		HYDRAULISCHE GRAAFMACHINE MET TRILBLOK			
H101 HGM 500L	61.60			0.00		4.20		57.40		HYDRAULISCHE GRAAFMACHINE 450-9650L RUPS OF MOBIEL			
H103 HGM 500L+L	72.00			0.00		4.20		67.80		HYDRAULISCHE GRAAFMACHINE 450-9650L RUPS OF MOB.+LASER			
H105 HGM 700L	73.50			0.00		5.40		68.10		HYDRAULISCHE GRAAFMACHINE 700-BOOL RUPS			
H107 HGM 700L+L	84.50			0.00		5.40		79.10		HYDRAULISCHE GRAAFMACHINE 700-BOOL RUPS + LASER			
H110 HGM 700L M	73.50			0.00		5.40		68.10		HYDRAULISCHE GRAAFMACHINE 700-BOOL MOBIEL			
H115 HGM 900L	82.50			0.00		6.60		75.90		HYDRAULISCHE GRAAFMACHINE 900-1000L RUPS			
H117 HGM 900L+L	93.50			0.00		6.60		86.90		HYDRAULISCHE GRAAFMACHINE 900-1000L RUPS +LASER			
H120 HGM 1200L	93.00			0.00		8.40		84.60		HYDRAULISCHE GRAAFMACHINE 1200L			
H122 HGM 1400L	114.00			0.00		10.80		103.20		HYDRAULISCHE GRAAFMACHINE 1400L			
H125 HGM 1500L	114.00			0.00		10.80		103.20		HYDRAULISCHE GRAAFMACHINE 1500L			
H130 HGM 2000L	120.00			0.00		14.10		105.90		HYDRAULISCHE GRAAFMACHINE 2000L			
K105 KRAAN+KUBEL	200.00			0.00		0.00		200.00		KRAAN MET KUBEL (betonstorten)			
K110 KRAANW. 20T	133.79			0.00		0.00		133.79		KRAANWAGEN 20T			

Tabel 3.2.6. Overzicht van het materiaal.

LANDINRICHTINGSDIENST							DATUM : 31 AUG 88		BLAD : 2		
OVERZICHT VAN HET MATERIAAL											
CODE	MATERIAAL	EENHEID	RAWBB1		PRIJS	MAT	VOLLEDIGE OMSCHRIJVING MATERIAAL				
			PRIJS	MAT							
R2765	BETONNH. 1000	M1	282.60				BETONBUIJS 1000MM	"	"	"	"
R2770	BETONNH. 1250	M1	423.30				BETONBUIJS 1250MM	"	"	"	"
R2775	BETONNH. 1500	M1	581.40				BETONBUIJS 1500MM	"	"	"	"
R2830	BETONB. 300	M1	60.00				BETONBUIJS 300MM	KLASSE 135	GEWAPEND	LENGTE 2.00M	
R2835	BETONNH. 400	M1	80.00				BETONBUIJS 400MM	"	"	"	2.00M
R2840	BETONB. 500	M1	110.00				BETONBUIJS 500MM	"	"	"	2.00M
R2845	BETONB. 600	M1	145.00				BETONBUIJS 600MM	"	"	"	2.00M
R2850	BETONB. 700	M1	190.00				BETONBUIJS 700MM	"	"	"	2.40M
R2855	BETONNH. 800	M1	235.00				BETONBUIJS 800MM	"	"	"	2.40M
R2860	BETONB. 900	M1	290.00				BETONBUIJS 900MM	"	"	"	2.40M
R2865	BETONNH. 1000	M1	345.00				BETONBUIJS 1000MM	"	"	"	2.00M
R2870	BETONNH. 1250	M1	500.00				BETONBUIJS 1250MM	"	"	"	2.00M
R2875	BETONNH. 1500	M1	695.00				BETONBUIJS 1500MM	"	"	"	2.00M
R2890	SCHEIDINGSP	ST	42.50				SCHEIDINGSPAAL BETON				
R2900	HEIPAAL 6M	M1	49.00				BETONNEN HEIPAAL 400X400 LANG 6 METER				
R2910	HEIP. 12,9M	M1	50.00				BETONNEN HEIPAAL 400X400 LANG 12,5 M				
R2920	HEIP. 17,9M	M1	51.00				BETONNEN HEIPAAL 400X400 LANG 17,5 M				
R2950	BET. OPZ. 1,5	ST	27.75				BETONNEN OPZETTER DIAM. 230 MM LANG 1,5 M				
R2955	BET. OPZ. 2M	ST	45.00				BETONNEN OPZETTER DIAM. 280 MM LANG 2,0 M				
R3000	BET. DAMWAND	M3	325.00				TRV BEREK. BET. DAMWAND BASIS IS PLANK HR 0.50M D=250MM+L=4M CQ D=300MM+L=10M				
R3100	BRUGDEK K30	M2	520.00				BRUGDEK BETON + LIGGERS B=0.50M + 2 RANDLIGGERS, INCL. OPLEGMAT. + SPANMAT.				
R3110	BRUGDEK K45	M2	560.00				BRUGDEK BETON + LIGGERS B=0.50M + 2 RANDLIGGERS, INCL. OPLEGMAT. + SPANMAT.				
R3120	BRUGDEK K60	M2	580.00				BRUGDEK BETON + LIGGERS B=0.50M + 2 RANDLIGGERS, INCL. OPLEGMAT. + SPANMAT.				
R3150	HS1000X1500	M2	3586.00				BETONNEN STUWSCHUIF INCL. THERM. VERZ. FRAME + WINDWERK MET R.V.S. KABELS				
R3160	HS1000X2250	M2	2761.00				BETONNEN STUWSCHUIF INCL. THERM. VERZ. FRAME + WINDWERK MET R.V.S. KABELS				
R3170	BS3000X1250	M2	1971.00				BETONNEN STUWSCHUIF INCL. THERM. VERZ. FRAME + WINDWERK MET R.V.S. KABELS				
R3180	BS3000X2000	M2	1442.00				BETONNEN STUWSCHUIF INCL. THERM. VERZ. FRAME + WINDWERK MET R.V.S. KABELS				
R3210	RH1000X1250	M1	646.00				RECHTHOEKIGE DUIKER BETON GEN. 100 KN/M2				
R3215	RH1000X1500	M1	707.00				RECHTHOEKIGE DUIKER BETON				
R3220	RH1250X1000	M1	667.00				RECHTHOEKIGE DUIKER BETON				
R3230	RH1250X1500	M1	761.00				RECHTHOEKIGE DUIKER BETON				
R3240	RH1500X1000	M1	768.00				RECHTHOEKIGE DUIKER BETON				
R3250	RH1500X1250	M1	829.00				RECHTHOEKIGE DUIKER BETON				
R3260	RH1500X1750	M1	967.00				RECHTHOEKIGE DUIKER BETON				
R3270	RH1500X2000	M1	1072.00				RECHTHOEKIGE DUIKER BETON				
R3280	RH1750X1000	M1	866.00				RECHTHOEKIGE DUIKER BETON				
R3290	RH1750X1500	M1	988.00				RECHTHOEKIGE DUIKER BETON				

Tabel 3.2.7. Specificatie eenheidsprijzen opruimingswerk.

LANDINRICHTINGSDIENST					DATUM : 15 SEP 88					BLAD : 3		
OVERZICHT VAN DE STANDAARDEENHEIDSPRIJZEN 1 JANUARI 1988												
OVERIG-NEDERLAND 15* OPRUIMINGSWERK					UURLOON 34.30							
GROEP/SUBGROEP												
	WERK	E	MACHINES EN/OF MATERIAAL	CAP MACH	TIJD MACH	PRIJS MACH	CAP ARB	TIJD ARB	HOEV. MAT	PRIJS E MAT	SEP	
BOUWERKEN												
15*01*02* ONGEWAPEND BETON	OPBREKEN	M3	KRAAN+SLOOP		.30	117.50		.30				
	LADEN	M3	HGM 900L		.10	82.50						
	AFVOEREN	M3	AUTO 8-10T		.20	71.30						
15*01*04* WATERPUT (2 RINGEN)	ONTGR/LADEN	ST	HGM 900L		.50	82.50		.50			68.00	
	AFVOEREN	ST	AUTO 8-10T		.50	71.30						
											94.00	
15*01*06* PUIN/VUILNIS	OPLADEN	M3	HGM 900L		.08	82.50						
	AFVOEREN	M3	AUTO 8-10T		.15	71.30						
15*01*08* METSELWERK	OPBR/LADEN	M3	HGM 900L		.30	82.50		.30			17.25	
	AFVOEREN	M3	AUTO 8-10T		.20	71.30						
15*01*10* GEWAPEND BETON	OPBREKEN	M3	KRAAN+SLOOP		.50	117.50		1.00				
	LADEN	M3	HGM 900L		.10	82.50						
	AFVOEREN	M3	AUTO 8-10T		.20	71.30					49.25	
15*01*14* HOUT	OPBR/LADEN	M3	HGM 900L		.25	82.50		.25				
	AFVOEREN	M3	AUTO 8-10T		.18	71.30					115.00	
15*01*26* WINDMOLEN	DEMONTEREN	ST						4.00				
	OPGRAVEN	ST	HGM 900L		2.00	82.50		4.00			42.00	
	AFVOEREN	ST	AUTO 10-13T		2.00	80.00						
600.00												
BUIZEN GIETIJZER												
15*05*02* < 400 MM AFVOEREN	ONTGRAVEN	M1	HGM 900L	20.00		82.50	10.00					
	AFVOEREN	M1	AUTO 10-13T	20.00		80.00						
	LOSSEN	M1	HGM 900L	32.00		82.50						
15*05*04* 400- 800 MM AFVOEREN	ONTGRAVEN	M1	HGM 900L	15.00		82.50	7.50				14.25	
	AFVOEREN	M1	AUTO 10-13T	15.00		80.00						
	LOSSEN	M1	HGM 900L	32.00		82.50						
15*05*06* > 800 MM AFVOEREN	ONTGRAVEN	M1	HGM 1200L	8.00		93.00	4.00				18.00	
	AFVOEREN	M1	AUTO 10-13T	8.00		80.00						
	LOSSEN	M1	HGM 1200L	12.00		93.00						
38.00												

Tabel 3.2.8. Voorbeeld van een begroting waarbij niet wordt gewerkt met eenheidsprijzen. (Bron: Rovers, 1982)

Werk : Voorbeeldberekening volgens paragraaf 5.1										Bladno. : Bijlage 6.....					
Opdrachtgever :										Datum :					
Bestekno. :															
Artikel van het bestek	Omschrijving	Hoeveelheden	Eenheden	Tot.begroet per eenh.	Manuren totaal per eenh.	Materieel per eenh.	Materieel totaal per eenh.	Onderaann. per eenh.	Onderaann. totaal	Opmerkingen					
a.	Schutslakken leveren, lossen, vervoeren, verwerken	10.560	ton	21,98	232.109	0,03 ⁴	359	8,14	8.596	29,15	212.784	-	-	Uurloon f 39,--	
b.	Slakkenaan profileren, verdichten	16.000	m ²	0,87	13.920	0,01	160	0,57	9.120	-	-	-	-		
c.	Grindastalibeton leveren, vervoeren en verwerken	3.220	ton	86,43	278.305	0,98	258	34,03	45.177	70,--	225.400	-	-		
d.	Kleeflaag aanbrengen	14.000	m ²	n,21	2.940	-	-	-	-	-	-	-	-		
	Bitumenemulsie leveren	4,2	ton	-	-	-	-	-	799,--	2.940	-	-	-		
Totaal:					527.264		777	62.893		441.124					
											62.893				
											x f 39,--		23.310		
										Totaal:		527.327			

3.2.7. Literatuur

- Bond van Agrarische Loonbedrijven (BOVAL), jaarlijkse uitgave
Tarieven loonwerk. Bond van Agrarische Loonbedrijven, Utrecht.
- COBOUW
Diverse nummers. Dagblad, 's Gravenhage.
- Landinrichtingsdienst, 1979
Keuzelijst landinrichtingswerk. Landinrichtingsdienst, Utrecht.
- Landinrichtingsdienst, jaarlijkse uitgave
Standaardeenheidsprijzen voor landinrichtingswerken in Nederland. Landinrichtingsdienst, Utrecht.
- Landinrichtingsdienst, jaarlijkse uitgave
Overzicht standaardeenheidsprijzen. Landinrichtingsdienst, Utrecht.
- Nieuwe Vereniging van Aannemers Grootbedrijf (NIVAG), 1983
Kostennormen voor aannemersmateriaal. Samson, Alphen aan de Rijn.
- Nijenhuis, G.W., 1985
Bestekken, Begrotingen en Directievoering. Practicumhandleiding. Vakgroep Cultuurtechniek, Landbouwhogeschool.
- Rovers, J.H.M., 1982
Kostprijsberekening in de wegenbouw. Nederlandse Vereniging van Wegenbouwers (NVWB), Den Haag.
- Stichting RAW, 1977
RAW in kort bestek. Stichting RAW, Ede.
- Stichting RAW
RAW bulletin. (diverse nummers). Stichting RAW, Ede.
- Stichting RAW, 1983
10 jaar RAW. Stichting RAW, Ede.
- Stichting RAW, 1985
Standaard 1985. Stichting RAW, Ede.
- Schroeff, H.J. van der, 1970
Kosten en kostprijs. Kosmos, Amsterdam Antwerpen.
- Stichting Bouwresearch, 1966
De kosten in het bouwbedrijf. Samson, Alphen aan de Rijn.
- Twijnstra, A., 1962
Kostprijsberekening in het aannemingsbedrijf. Samson, Alphen aan de Rijn.
- UAV, 1968
Uniforme administratieve voorwaarden voor de uitvoering van werken. Staatsuitgeverij, 's Gravenhage.
- Vereniging Aannemers Grond-, Water- en Wegenbouw (VAGWW), 1986
Handboek voor de grond-, water- en wegenbouw. Vereniging Aannemers Grond-, Water- en Wegenbouw, Nieuwegein.
- Zijlstra, J.O., 1987
Bestekken in de Grond-, Water- en Wegenbouw. Stichting RAW, Ede.

3.3. Productienormen voor grondbewerking en grondverzet.

3.3.1. Inleiding

Voor de volgende werkzaamheden zijn productienormen in tabelvorm weergegeven:

Grondbewerkingen:

- | | |
|-----------------------|---------------|
| - Spitten (machinaal) | (tabel 3.3.1) |
| - Ploegen | (tabel 3.3.1) |
| - Cultiveren | (tabel 3.3.1) |
| - Eggen | (tabel 3.3.1) |
| - Frezen | (tabel 3.3.1) |
| - Inzaaien | (tabel 3.3.1) |
| - Rollen | (tabel 3.3.1) |

Grondverzet:

- | | |
|---------------------------------------|------------------------------|
| - Diepploegen | (tabel 3.3.2 en tabel 3.3.3) |
| - Draineren | (tabel 3.3.4) |
| - Bulldozerwerk | (tabel 3.3.5) |
| - Grondtransport in het terrein | (tabel 3.3.6 en tabel 3.3.7) |
| - Graven van sloten c.q. leidingen | (tabel 3.3.8) |
| - Verruimen van sloten c.q. leidingen | (tabel 3.3.9) |

Bij de opbouw van deze normen is uitgegaan van de netto-tijden. Om te komen tot taaknormen zijn de benodigde netto-tijden verhoogd met percentages voor bijkomende handelingen, kleine machinestoringen, onvermijdelijk wachten, overleg, persoonlijke verzorging en rust. Bovendien zijn percentages aan de netto-tijden toegevoegd voor wacht-uren, transporturen op het werk en normale werkrisico's, zodat de gegevens kunnen worden gehanteerd als calculatienormen.

De weergegeven productienormen gelden voor normale omstandigheden. Voor zover van belang en voor zover mogelijk zijn correctiefactoren weergegeven voor afwijkende omstandigheden, waardoor bij benadering de voor die omstandigheden specifieke productienorm benaderd kan worden.

3.3.2. Produktienormen grondbewerking

Tabel 3.3.1. Produktienormen grondbewerking voor oppervlakten groter dan 1 ha. (Bron: Tijdnormen voor onderhoud en aanleg van groenvoorzieningen. Instituut voor Mechanisatie, Arbeid en Gebouwen (IMAG), Wageningen)

Bewerking		produktienorm in are per uur
1.	SPITTEN (machinaal)	
1.1	- werkbreedte 1,40 m	19
1.2	- werkbreedte 2,00 m	24
2.	PLOEGEN	
2.1	rondgaande ploeg	
2.1.1	- 3 scharen; diepte 0,15 - 0,25 m	34
2.1.2	- 3 scharen; diepte 0,25 - 0,40 m	28
2.1.3	- 6 scharen; diepte 0,15 - 0,25 m	60
2.1.4	- 6 scharen; diepte 0,25 - 0,40 m	43
2.2	keerploeg	
2.2.1	- 2 scharen; diepte 0,15 - 0,25 m	27
2.2.2	- 2 scharen; diepte 0,25 - 0,40 m	22
2.2.3	- 3 scharen; diepte 0,15 - 0,25 m	35
2.2.4	- 3 scharen; diepte 0,25 - 0,40 m	30
3.	CULTIVATEREN (diepte tot 0,15 m)	
3.1	- werkbreedte 2,50 m	50
3.2	- werkbreedte 4,50 m en meer	150
4.	SCHIJVENEGGEN	
4.1	- werkbreedte 4,00 m	120
5.	EGGEN	
5.1	- oppervlakte 1 - 4 ha; werkbreedte 3,00 m	75
5.2	- oppervlakte 1 - 4 ha; werkbreedte 6,00 m	100
5.3	- oppervlakte > 4 ha; werkbreedte 3,00 m	100
5.4	- oppervlakte > 4 ha; werkbreedte 6,00 m	150
6.	EGGEN (aangedreven)	
6.1	- werkbreedte 3,00 m	50
6.2	- werkbreedte 6,00 m	75
7.	FREZEN	
7.1	- werkbreedte 1,80 m	30
8.	INZAAIEN	
8.1	- werkbreedte tot 1,00 m	10
8.2	- werkbreedte 1,00 - 2,00 m	25
8.3	- werkbreedte 2,00 - 3,00 m	45
9.	ROLLEN	
9.1	- werkbreedte tot 1,00 m	15
9.2	- werkbreedte 1,00 - 2,00 m	20
9.3	- werkbreedte 2,00 - 3,00 m	45

3.3.3. Produktienormen grondverzet

Tabel 3.3.2. Capaciteitsnormen voor rondgaand (kerend) diepploegen van rechthoekige percelen*) met zware wieltrekkers (ca. 200 kW) in ares per uur (diepte tot 1,00 m) met gebruik van laserapparatuur (excl. wendakkers).

Te ploegen oppervlakte (ha)	Ploegvoorbreedte (m)	Perceelslengte in meters							
		50	75	100	150	200	300	400	>600
0,25	0,45	14	16	17	18	18			
	0,55	16	18	20	21	21			
	0,65	18	21	22	23	24			
0,50	0,45	17	19	20	21	22	22		
	0,55	20	22	24	25	26	26		
	0,65	23	25	28	29	30	30		
1,00	0,45		20	21	22	24	24	25	
	0,55		23	26	27	28	29	30	
	0,65		27	30	31	33	34	34	
2,00	0,45			22	23	24	25	26	
	0,55			27	28	30	30	31	
	0,65			31	33	35	35	37	
4,00	0,45				24	25	26	26	
	0,55				28	30	11	32	
	0,65				33	35	36	37	

Tabel 3.3.3. Capaciteitsnormen voor ophalend (kerend) diepploegen van rechthoekige percelen*) met zware wieltrekkers (ca. 200 kW) in ares per uur (diepte tot 1,00 m) met gebruik van laser apparatuur (excl. wendakkers).

Te ploegen oppervlakte (ha)	Ploegvoorbreedte (m)	Perceelslengte in meters				
		50	75	100	150	200
0,10	0,45	9	9	9		
	0,55	10	10	10		
	0,65	11	11	12		
0,25	0,45	10	11	11	11	11
	0,55	12	13	13	13	13
	0,65	14	14	15	15	15
0,50	0,45	11	11	11	12	12
	0,55	13	14	14	14	14
	0,65	15	16	16	16	17
1,00	0,45		12	12	12	12
	0,55		14	14	15	15
	0,65		17	17	17	17

*) Bij het diepploegen van onregelmatige percelen moet rekening worden gehouden met capaciteitsreducties van 10 tot 20%.

Tabel 3.3.4. Capaciteitsnormen*) in m per uur voor machinaal draineren bij een draindiepte 1,00 tot 1,50 m en een gemiddelde drainlengte van 200 m.

Type machine	Motor-vermogen (kW)	Omvang object in km drain		
		2,5	10	> 50
kettinggraver	150	300	350	400
	250	350	550	750
sleufloos	150	350	450	550
	250	400	600	850

*)

De capaciteitsnormen dienen voor de volgende afwijkende omstandigheden als volgt te worden gecorrigeerd :

Omstandigheid			Correctiefactor
grondsoort:			
- Kettinggraver	- harde lagen		0,60 - 0,95
	- zware stugge klei		0,60 - 0,80
- Sleufloos	- harde lagen		0,75 - 0,95
	- droge zware klei		0,75 - 0,90
draindiepte 1,50 tot 2,00 m:			
- kettinggraver	- 150 kW	veengrond	0,80
		overige	0,70
	- 250 kW	veengrond	0,90
		overige	0,80
- sleufloos	- 150 kW		1,00
	- 250 kW	veengrond	0,85
		overige	0,75
kruisen van greppels ¹⁾:			0,70 - 0,90
drainlengte:			
		lengte gem. 100 m	0,90
		lengte gem. 300 m	1,05

¹⁾ Een correctie voor het kruisen van greppels wordt alleen doorgevoerd, wanneer deze correctie groter is dan de correctie voor grondsoort en/of draindiepte.

Tabel 3.3.5. Capaciteitsnormen voor schuiven van grond met bulldozers op kleigrond in m³ per uur (excl. naegaliseren)*).

Transport afstand (m)	Motorvermogen in kW						
	50	75	100	125	150	175	200
20	57	105	152	199			
30	46	84	122	160	198		
40	39	70	102	134	165	197	
50	33	60	88	115	142	169	196
60	29	53	77	101	125	148	172
80	23	42	62	81	100	119	138
100	19	35	51	67	83	99	115
120		30	44	58	72	85	99
140			39	51	63	75	87
160			34	45	56	66	77

*) Voor het naegaliseren met bulldozers moet nog rekening worden gehouden met 2 tot 3 uur per ha extra. Naegalisatie met trekker en kilver vergt ca. 3 uur per ha.

Tabel 3.3.6. Capaciteitsnormen in m³ per uur voor grondtransport per getrokken dumper bij het graven van een waterloop met taludbak in zavelgrond*).

Rechtstreekse afstand (m)	Bakinhoud H.G.M. in m ³				
	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4
<i>Dumperinhoud 3 m³</i>					
50	31	35	38	41	42
100	27	30	32	33	35
200	21	23	24	25	25
300	17	18	19	20	20
500	13	13	14	14	14
1000	8	8	8	8	8
<i>Dumperinhoud 5 m³</i>					
50	40	47	52	56	60
100	36	41	45	48	50
200	29	32	35	37	38
300	25	27	29	30	31
500	19	20	21	22	22
1000	12	12	13	13	13

*) Afhankelijk van de grondsoort (en de vochtspanning van de grond) varieert de capaciteit voor zandgrond van 105 tot 115% en voor kleigrond van 85 tot 90%.

De capaciteit voor veengronden is in sterke mate afhankelijk van de berijdbaarheid van het terrein.

Tabel 3.3.7. Capaciteitsnormen in m³ per uur voor grondtransport per zelfrijdende dumper bij het graven van een waterloop met taludbak in zavelgrond*).

Rechtstreekse afstand (m)	Bakinhoud H.G.M. in m ³				
	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4
<i>Dumperinhoud 8 m³</i>					
100	41	50	57	62	67
300	33	38	42	45	47
500	27	31	33	35	36
1000	19	21	22	23	23
1500	15	16	16	17	17
2000	12	13	13	13	13
<i>Dumperinhoud 10 m³</i>					
100	44	54	62	69	75
300	36	43	47	51	55
500	31	35	38	41	43
1000	22	24	26	27	28
1500	17	19	20	20	21
2000	14	15	16	16	16
<i>Dumperinhoud 12 m³</i>					
100	47	57	67	75	82
300	39	46	52	57	61
500	34	39	43	46	49
1000	25	28	30	31	32
1500	20	21	23	23	24
2000	16	17	18	19	19

*) Afhankelijk van de grondsoort (en de vochtspanning van de grond) varieert de capaciteit voor zandgrond van 105 tot 115% en voor kleigrond van 85 tot 90%.

De capaciteit voor veengronden is in sterke mate afhankelijk van de berijdbaarheid van het terrein.

Tabel 3.3.8. Capaciteitsnormen in m³ per uur voor het graven van waterlopen in zavelgronden*) met hydraulische graafmachines op rupsen, uitgerust met een profielbak. Taludhelling 1 : 1,5, zonder gebruik van schotten en grond op de kant zetten*).

Sloot- inhoud (m ³ · m ⁻¹)	Bakinhoud in m ³					
	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6
1	53	71	89	107	124	142
2	55	74	92	110	129	147
3	57	76	95	114	133	152
4	59	79	98	118	138	157
5	61	81	101	122	142	162
6	63	84	105	126	147	168
7	65	86	108	130	151	173
8	67	89	111	134	156	178
9	69	92	115	138	161	184
10	71	95	118	142	165	189

*) Afhankelijk van de grondsoort (en de vochtspanning van de grond) varieert de capaciteit voor zandgrond van 110 tot 115% en voor kleigrond van 85 tot 90%.

De capaciteit voor veengronden is in sterke mate afhankelijk van de berijdbaarheid van het terrein (bijvoorbeeld gebruik van schotten).

Indien de vrijkomende grond direct geladen wordt, zal de productie van de hydraulische graafmachine gereduceerd worden tot ca. 90%.

Onegaliteit van het trace van de te graven waterloop kan de productie van de hydraulische graafmachine reduceren tot 80%.

Tabel 3.3.9. Capaciteitsnormen in m³ resp. m³ per uur voor het tweezijdig verruimen en profileren c.q. opschonen van waterlopen met hydraulische graafmachines op rupsen, uitgerust met een slotenbak. Zonder gebruik van schotten en grond op de kant zetten*).

Te ontgraven sloothoeveelheid (m ³ · m ⁻¹)	Bakinhoud in m ³					
	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6
<i>Slootinhoud < 5 m³ · m⁻¹. Capaciteit in m³ · h⁻¹</i>						
< 1	65	75	90	100	110	115
1 - 2	35	45	50	55	65	70
<i>Slootinhoud < 5 m³ · m⁻¹. Capaciteit in m³ · h⁻¹</i>						
1 - 2	55	65	75	85	95	105
2 - 3	65	75	85	100	115	130
<i>Slootinhoud 5 - 10 m³ · m⁻¹. Capaciteit in m³ · h⁻¹</i>						
< 1	60	70	80	90	100	105
1 - 2	30	40	45	50	55	65
<i>Slootinhoud 5 - 10 m³ · m⁻¹. Capaciteit in m³ · h⁻¹</i>						
1 - 2	50	60	70	80	85	95
2 - 3	55	70	85	95	105	115
3 - 4		85	95	110	120	135
4 - 5				125	140	150

*) Bij het verruimen en opschonen van waterlopen blijkt in de praktijk, dat de capaciteit nogal varieert. Indien de vrijkomende grond direct geladen wordt, zal de productie van de hydraulische graafmachine gereduceerd worden tot ca. 90%.

3.3.4. Literatuur

Horst, G.H., 1981

Capaciteit grondtransport met getrokken dumpers. Nota 1238. Instit. voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Wageningen.

Sprik, J.B., en G.H. Horst, 1982

Onderzoek naar capaciteitsnormen voor diepploegen, bulldozers en hydraulische graafmachines. Rp. nr. 1. Instit. voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Wageningen

Wilde, J.G.S. de, en J.F. van der Meer, 1983

Produktiemodel en produktienormen voor het graven van waterlopen. Nota 1417. Instit. voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Wageningen.

Wilde, J.G.S. de, 1985

Rekenmodel en produktienormen voor grondtransport met getrokken en zelfrijdende dumpers. Rp. nr. 16. Instit. voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding.