



LANDBOUWKUNDIGE
ASPECTEN VAN
GRONDWATER-
ONTTREKKING

*Berekening van schade
als gevolg van kunstmatige
verlaging van de grondwaterstand*

COMMISSIE GRONDWATERWET WATERLEIDINGBEDRIJVEN

Werkgroep Landbouwkundige Aspecten

1984

J. v. Babel.

LANDBOUWKUNDIGE ASPECTEN VAN GRONDWATERONTTREKKING.

COMMISSIE GRONDWATERWET WATERLEIDINGBEDRIJVEN

Werkgroep Landbouwkundige Aspecten

1984.

TEN GELEIDE

Nadat in 1977 de Nota "Onderzoek ten behoeve van de afweging van belangen betrokken bij het grondwater" was uitgebracht stelde de Commissie Grondwaterwet Waterleidingbedrijven (CoGroWa) een drietal werkgroepen in die tot taak kregen ten aanzien van enkele belangrijke aandachtsgebieden nader te rapporteren. Het rapport van de werkgroep "Geohydrologische Aspecten van Grondwaterwinning" verscheen in 1983.

Hoewel na het van kracht worden van de Grondwaterwet de taak van de CoGroWa beperkt is tot het afhandelen van een aantal zaken die vóór 1 maart 1984 onder vigeur van de Grondwaterwet Waterleidingbedrijven in procedure waren, oordeelde de commissie het wenselijk het eindrapport van de werkgroep "Landbouwkundige Aspecten", dat thans voor u ligt, als consequentie van deze opdracht te publiceren. Het moet duidelijk zijn dat de CoGroWa zich met dit rapport niet uitspreekt over de gang van zaken bij de uitvoering van de Grondwaterwet. De verantwoordelijkheid daarvoor ligt bij de organen die in het kader van deze wet een taak hebben op het gebied van belangenafweging en het doen van schaderegelingsvoorstellen.

Het rapport beschrijft een aantal methoden die toegepast kunnen worden om de veranderingen van opbrengsten van landbouwgronden te berekenen die als gevolg van veranderingen van de grondwaterstand kunnen optreden. Slechts in beperkte mate worden ingegaan op het vaststellen van grondwaterstandsveranderingen, omdat deze materie uitvoerig aan de orde is gesteld in het eindrapport van de werkgroep "Geohydrologische Aspecten van Grondwaterwinning".

Met de in dit rapport beschreven methoden kan in grotere mate ingespeeld worden op de plaatselijke bedrijfssituatie dan voorheen mogelijk was. Voorts wordt besproken hoe de schade aan particuliere watervoorzieningen kan worden vastgesteld. In principe kunnen de beschreven methoden zowel bij de afhandeling van aanspraken op schadevergoeding, als ook bij het aangeven van de landbouwkundige gevolgen van aangevraagde vergunningen worden toegepast. Slechts de mate van detail waarin de methode moet worden uitgewerkt, verschilt.

Bij bestudering van het rapport valt te bespeuren dat er een tendens is naar een steeds verdergaande verfijning bij de benadering van de landbouwschade. Daar staat tegenover dat juist een eenvoudige berekening van de schade en daarmee een en vlotte afhandeling van de aanspraken op schadevergoeding voor alle partijen wenselijk is. Daartoe zal de invloed van de vereenvoudiging op de berekeningsresultaten bekend moeten zijn. Tot nu toe bestaat hieromtrent nog onvoldoende inzicht.

De commissie spreekt de verwachting uit dat door het uitbrengen van dit rapport het inzicht in de gevolgen van grondwateronttrekking voor de landbouwkundige bedrijfsvoering bij alle betrokken partijen wordt verdiept. Daardoor zal het ongetwijfeld bijdragen aan een vlottere afhandeling van aanspraken op schadevergoeding en aan een betere onderbouwing van vergunningaanvragen voor grondwateronttrekking.

Ten slotte is een woord van dank op zijn plaats aan de werkgroep die veel tijd wijdde aan de samenstelling van dit rapport.

De werkgroep had de volgende samenstelling:

dr.ir. R.A. Feddes (voorzitter)	Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding
ing. G.J. Grotentraast (secretaris)	Technisch Secretariaat CoGroWa
ir. H. Ton (tot 1-8-1981)	Technisch Secretariaat CoGroWa
ir. A.W. Sleeking (vanaf 1-8-1981)	Technisch Secretariaat CoGroWa
ir. A.F. van Holst	Stichting voor Bodemkartering
ing. G.M. Pronk	Landinrichtingsdienst
ir. M.G.M. den Blanken (waarnemer)	Keuringsinstituut voor Waterleiding-artikelen
ir. G.v.d. Velde (waarnemer)	Keuringsinstituut voor Waterleiding-artikelen

De voorzitter van de CoGroWa,

ir. J. Verkoren.

INHOUD

	<u>Blz.</u>
SAMENVATTING	
INLEIDING	1
1. DE INVLOED VAN DE ONTTREKKING OP DE GRONDWATERSTAND	5
1.1. <u>Inleiding</u>	5
1.2. <u>Algemeen</u>	5
1.2.1. Karakterisering van het grondwaterstandsverloop	5
1.2.2. Verlaging van de grondwaterstand	7
1.3. <u>Methoden ter bepaling van de verlaging</u>	10
1.3.1. Modelberekeningen	10
1.3.2. Analyse van gemeten grondwaterstanden	11
1.3.3. Kartering van bodemkenmerken	13
1.3.4. Overige methoden	18
1.4. <u>Conclusies en aanbevelingen</u>	22
2. OPBRENGSTDEPRESSIES DOOR VOCHTTEKORT	25
2.1. <u>Inleiding</u>	25
2.2. <u>Methoden ter bepaling van het vochttekort</u>	26
2.2.1. Empirische modellen	26
2.2.2. Pseudo-stationaire modellen	27
2.2.3. Niet-stationaire modellen	31
2.2.4. Gekoppelde modellen voor het onverzadigde-verzadigde systeem	36
2.3. <u>Basisgegevens voor de berekening van het vochttekort</u>	37
2.3.1. Vochtkarakteristiek	37
2.3.2. Capillair geleidingsvermogen	40
2.3.3. Wortelzone	44
2.3.4. Grondwaterstand en basisafvoer	46
2.3.5. Meteorologische gegevens	49

	<u>Blz.</u>
2.4.	<u>Methoden ter bepaling van de opbrengstdepressie</u> 62
2.4.1.	Inleiding 62
2.4.2.	Proefveld- en lysimetergegevens betreffende opbrengst en watergebruik 63
2.4.3.	Droogteschadematrices 68
2.4.4.	Fysisch geörienteerde produktiemodellen 70
2.5.	<u>Conclusies en aanbevelingen</u> 77
3.	OPBRENGSTDEPRESSIES DOOR WATEROVERLAST 80
3.1.	<u>Inleiding</u> 80
3.2.	<u>Facetten van wateroverlast</u> 80
3.3.	<u>Methoden ter bepaling van de opbrengstdepressie</u> 83
3.3.1.	Empirische methoden 83
3.2.3.	Modelberekeningen 91
3.4.	<u>Basisgegevens voor de berekening van de wateroverlast</u> 95
3.4.1.	Grondwaterstandgegevens 95
3.4.2.	Bodemkundige gegevens 98
3.4.3.	Neerslag- en neerslagoverschotgegevens 98
3.5.	<u>Conclusies en aanbevelingen</u> 103
4.	FINANCIËLE WAARDERING VAN OPBRENGSTVERANDERINGEN 105
4.1.	<u>Inleiding</u> 105
4.2.	<u>Methoden ter bepaling van de schade</u> 106
4.2.1.	Kosten van ondervangende en/of compenserende maatregelen 106
4.2.2.	Kostprijs van het gederfde produkt 107
4.2.3.	Opbrengstprijs van het gederfde produkt 108
4.2.4.	Kosten aankoop vervangende produkten 108
4.2.5.	Saldoberekening per koe 110
4.2.6.	Berekening produktievermindering in bedrijfsverband 112
4.3.	<u>Basisgegevens voor de berekening van de schade</u> 114
4.3.1.	Bedrijfstechnische gegevens 114
4.3.2.	Prijzen van produkten en voedermiddelen 115
4.4.	<u>Conclusies en aanbevelingen</u> 118

	<u>Blz.</u>
5.	SCHADE MET BETREKKING TOT PARTICULIERE WATERVOORZIENINGEN 121
5.1.	<u>Inleiding</u> 121
5.2.	<u>Beschrijving van de winningsmiddelen en het gebruik</u> 122
5.2.1.	Winning vanuit oppervlaktewater 122
5.2.2.	Waterputten 122
5.2.3.	Gespoten filterbuis 124
5.2.4.	Geslagen putten (puntstuk) 124
5.2.5.	Artesische putten (welput) 125
5.2.6.	Geboorde putten 125
5.3.	<u>Uitgangspunten voor de berekening van de schade</u> 126
5.3.1.	Algemene uitgangspunten 126
5.3.2.	Grootte van de verlaging 126
5.3.3.	Ondervangende maatregelen 127
5.4.	<u>Kwantificering van de schade</u> 132
5.4.1.	Kosten van ondervangende maatregelen 132
5.4.2.	Exploitatiekosten 133
5.4.3.	Overige kosten 135
5.5.	<u>Conclusies en aanbevelingen</u> 137
6.	LANDBOUWKUNDIGE ASPECTEN BIJ VERGUNNINGAANVRAGEN 139
6.1.	<u>Inleiding</u> 139
6.2.	<u>Onderzoek naar de gevolgen voor de landbouwproductie</u> 141
6.3.	<u>Conclusies en aanbevelingen</u> 144

Literatuuroverzicht

Lijst van figuren en tabellen

APPENDIX: VOORBEELD SCHADEBEREKENING

SAMENVATTING

Teneinde een nadere uitwerking te kunnen geven aan de in 1977 uitgebrachte nota "Onderzoek ten behoeve van de afweging van belangen betrokken bij het grondwater" heeft de Commissie Grondwaterwet Waterleidingbedrijven (CoGroWa) een drietal werkgroepen ingesteld met betrekking tot respectievelijk de geohydrologische, de landbouwkundige en de ecologische aspecten van grondwateronttrekking. In de onderhavige nota wordt verslag gedaan van de bevindingen van de Werkgroep Landbouwkundige Aspecten.

De werkgroep heeft zich ten doel gesteld methoden en normen aan te geven voor het vaststellen en kwantificeren van de landbouwkundige gevolgen van grondwateronttrekking. Doordat de inzichten op dit gebied alsmede beschikbare berekeningstechnieken voortdurend aan verandering onderhevig zijn is deze doelstelling slechts ten dele gerealiseerd. Op grond hiervan is gekozen voor een meer algemene beschrijving van een aantal thans beschikbare methoden ter bepaling van de landbouwkundige gevolgen van grondwateronttrekking.

De landbouwkundige gevolgen van grondwateronttrekking hebben voornamelijk betrekking op de gewasproductie en de winningsmiddelen voor particuliere watervoorziening (met name veedrenking).

Om de gevolgen van de onttrekking ten aanzien van deze aspecten te kunnen berekenen, moet de verlaging van de grondwaterstand en het verloop hiervan in de tijd bekend zijn. Omdat op een bepaald tijdstip altijd slechts één grondwaterstandsniveau (het beïnvloede dan wel het onbeïnvloede niveau) kan worden gemeten, kan de grootte van de verlaging niet door directe meting worden vastgesteld.

Voor het vaststellen van de optredende of te verwachten grondwaterstandsverlagingen staan meerdere benaderingen ter beschikking, die naar hun aard kunnen worden onderverdeeld in "verklarende" en "constaterende" onderzoeksmethoden. De keuze van de toe te passen methode is behalve van de beschikbaarheid van gegevens mede afhankelijk van het doel waarvoor de verlagingsberekening moet dienen. Ten behoeve van de afweging van belangen in het kader van vergunningaanvragen kan doorgaans met een meer globale aanduiding van de optredende of te verwachten verlagingen worden volstaan dan bij de behandeling van aanspraken op schadevergoeding.

Vaak beperkt het onderzoek zich niet tot toepassing van één methode, doch worden verschillende methoden gebruikt om de opgetreden verlaging vast te stellen.

Het simultaan verrichten van "constaterend" onderzoek, gebaseerd op gemeten grondwaterstanden of hiermee samenhangende kenmerken en "verklarend" onderzoek (hydrologische modelstudies) verdient in dit verband aanbeveling. De resultaten van de ene methode worden dan gebruikt om de uitkomsten van de andere methode aan te vullen en te onderbouwen.

Voor het aangeven van te verwachten verlagingen bij nieuw te stichten winplaatsen kan uitsluitend gebruik worden gemaakt van (voorspellende) modelberekeningen.

Voor de interpretatie van de resultaten van "constaterende" onderzoeksmethoden (regressie analyse van reeksen grondwaterstanden, kartering van hydromorfe kenmerken, proefpompings, constructie van grondwaterstandsraaien) dient men steeds de beschikking te hebben over gegevens buiten het invloedsgebied, teneinde de berekende verlagingen te kunnen corrigeren voor eventuele andere invloeden (effecten van waterhuishoudkundige werken, weersinvloeden).

Teneinde het effect van een onttrekking op de grondwaterstand vast te kunnen stellen is het van groot belang dat de hydrologische uitgangssituatie vóór het begin van de onttrekking dan wel vóór de uitbreiding van de onttrekking goed wordt vastgelegd.

Door verlaging van de grondwaterstand kan de vochtvoorziening van de vegetatie ongunstig worden beïnvloed met als gevolg een geringere opbrengst.

Voor de berekening van de optredende vochttekorten kan gebruik gemaakt worden van zowel pseudo-stationaire modellen als niet-stationaire modellen. Bij pseudo-stationaire modellen wordt veelal gerekend met tijdstappen van een decade. Bij niet-stationaire modellen wordt gerekend met tijdstappen van kleiner of gelijk aan 1 dag. Als gevolg hiervan is de vereiste hoeveelheid invoergegevens bij toepassing van niet-stationaire modellen groter en de benodigde rekentijd langer dan bij gebruik van pseudo-stationaire modellen. Het Technisch Secretariaat van de CoGroWa maakt momenteel bij schadeberekeningen gebruik van het pseudo-stationaire model LAMOS.

Voor de berekening van het vochttekort dienen de profielopbouw en de bodemfysische eigenschappen (vochtkarakteristiek en capillair geleidingsvermogen) van de onderscheiden bodemlagen bekend te zijn.

De profielopbouw wordt vastgesteld door middel van kartering, waarbij voor berekening met het model LAMOS onderscheid wordt gemaakt tussen de wortelzone en de ondergrond. Gezien de veelal sterk gevarieerde profielopbouw is een zekere schematisering van de ondergrond noodzakelijk.

De vocht karakteristieken van de onderscheiden bodemlagen kunnen worden vastgesteld aan de hand van meetgegevens, dan wel worden afgeleid uit empirisch vastgestelde relaties voor verschillende bodemtypen.

Voor de vaststelling van het capillair geleidingsvermogen wordt veelal gebruik gemaakt van "standaard" ondergronden, dan wel van door berekening volgens de methode Bloemen verkregen waarden. Recentelijk hebben nieuwe technieken om $K(h)$ relaties aan ongestoorde monsters te meten, ingang gevonden. Voor een beperkt aantal representatieve bodemhorizonten zijn deze gemeten $K(h)$ relaties in een archief opgeslagen, waaruit in voorkomende gevallen kan worden geput. Bij gebrek aan gegevens moet op dit moment in veel gevallen nog gebruik worden gemaakt van de eerder genoemde "standaard" gronden of van berekende $K(h)$ relaties.

Naast bovengenoemde invoergegevens voor de beschrijving van de eigenschappen van het onverzadigde systeem, zijn invoergegevens nodig voor de beschrijving van de randvoorwaarde aan de onderzijde en de bovenzijde van het systeem.

Bij onverzadigde stromingsmodellen kan de onderrandvoorwaarde worden weergegeven door de grondwaterstand, de basisafvoer of door een relatie tussen basisafvoer en grondwaterstand. Voor schadeberekeningen met het model LAMOS wordt een geschatte relatie tussen de grondwaterstand en de basisafvoer ingevoerd. Uitgaande van deze relatie wordt met het model aan de hand van een bekend gemiddeld grondwaterstandsverloop de uiteindelijke relatie tussen de grondwaterstand en de basisafvoer iteratief berekend. Vervolgens worden op basis van deze relatie de vochttekorten en het grondwaterstandsverloop per jaar berekend. Voor de berekening van de vochttekorten in de beïnvloede situatie kan ook een werkwijze worden gevolgd waarbij de opgetreden grondwaterstandsverlaging bij het berekende onbeïnvloede grondwaterstandsverloop wordt opgeteld. Het aldus vastgestelde verlaagde grondwaterstandsverloop wordt dan als randvoorwaarde aan de onderzijde van het systeem voor de beïnvloede situatie in het model ingevoerd.

De randvoorwaarde aan de bovenzijde van het systeem wordt bij de onverzadigde stromingsmodellen beschreven door invoer van de neerslag en de potentiële verdamping per tijdstap of door invoer van de meteorologische gegevens en de gewas parameters waaruit deze gegevens berekend worden. Het gebruik van meteorologische

gegevens van zogenaamde "statistische" jaren in modelberekeningen leidt tot te lage waarden voor de berekende vochttekorten en moet op grond hiervan sterk worden ontraden.

Indien als gevolg van vochttekorten een gewas niet potentieel kan verdampen treedt er een reductie in de opbrengst op. De mate van reductie is behalve van de grootte van het optredend vochttekort afhankelijk van de aard en het groeistadium van het gewas.

Voor de beschrijving van de relatie tussen de opbrengst en het waterverbruik zijn diverse modellen ontwikkeld. Gezien de vele aspecten die hierbij een rol spelen, wordt, om tot een praktisch werkbaar geheel te komen, veelal gebruik gemaakt van empirische relaties die ontleend zijn aan veldproeven. Voor akkerbouw- en tuinbouwgewassen wordt meestal uitgegaan van een lineaire relatie tussen de relatieve produktie en de relatieve transpiratie of de relatieve evapotranspiratie.

Voor grasland wordt bij schadeberekeningen uitgegaan van een door Van Boheemen gegeven relatie tussen de meeropbrengst per mm vocht en het potentiële produktieniveau van gras. Deze relatie vertoont een enigszins concaaf (hol) verloop. Het potentiële produktieniveau wordt van jaar tot jaar vastgesteld.

Bij ondiepe grondwaterstanden kan er sprake zijn van opbrengstreductie door wateroverlast. Indien door onttrekking van grondwater de grondwaterstand wordt verlaagd heeft dit een vermindering van de wateroverlast tot gevolg.

Opbrengstdepressies door wateroverlast worden veroorzaakt door een complex van factoren, zoals onvoldoende draagkracht en bewerkbaarheid van de bodem, slechte aëratie, vertraagde stikstofmineralisatie, lage bodemtemperatuur en structuurbederf.

Het onderzoek naar de invloed van wateroverlast op de gewasopbrengst heeft met betrekking tot akkerbouwgewassen hoofdzakelijk plaatsgevonden op klei- en zavelgronden. Voor grasland richtte het onderzoek zich vooral op veengronden en klei-op-veengronden. Voor zandgronden zijn relatief weinig onderzoeksgegevens beschikbaar.

Voor de bepaling van de opbrengstdepressie als gevolg van wateroverlast op zandgronden en op moerige gronden wordt door de CoGroWa gebruik gemaakt van empirisch vastgestelde depressiecurven voor grasland en voor akkerbouw. Voor kleigronden wordt de opbrengstdepressie vooralsnog gelijk gesteld aan de depressie

op moerige gronden.

Genoemde depressiecurven geven de gemiddelde opbrengstdepressie over een reeks van jaren. Voor de vaststelling van de wateroverlastdepressie per jaar wordt de gemiddelde depressie vermenigvuldigd met een factor gebaseerd op de neerslagsom, per jaar of op de jaarsom van de positieve maandelijks neerslagoverschotten. De wateroverlastdepressie per jaar kan eveneens worden vastgesteld door de gemiddelde hoogste grondwaterstand (GHG) te corrigeren op basis van de feitelijk opgetreden grondwaterstanden in een bepaalde periode of op een bepaald tijdstip.

Het gebruik van de zogenaamde COLN-isocarpes voor het vaststellen van de opbrengstdepressie door wateroverlast wordt ontraden omdat deze mede door ontwikkelingen in de bedrijfsvoering niet meer in overeenstemming zijn met de huidige inzichten hieromtrent.

In de laatste jaren zijn, onder andere in het kader van het zogenaamde HELP-onderzoek, modellen ontwikkeld voor berekening van de opbrengstreductie door wateroverlast.

Voortzetting en uitbreiding van het onderzoek met betrekking tot de opbrengstdepressie door wateroverlast, mede ter onderbouwing/bijstelling van de thans gebruikte depressiecurven, en de mogelijkheid om de depressies per jaar te specificeren is dringend gewenst.

Voor het vaststellen van de financiële schade of het voordeel als gevolg van de berekende opbrengstveranderingen kunnen verschillende benaderingen gevolgd worden. Uitgangspunt bij het vaststellen van de schadevergoeding is echter dat de grondgebruiker door aanpassing van de bedrijfsvoering binnen de grenzen van de aanwezige bedrijfsstructuur de schade zo beperkt mogelijk houdt.

Voor tuinbouwbedrijven wordt de schade in principe berekend op basis van de extra kosten van kunstmatige watervoorziening. Alleen in gevallen waarin kunstmatige watervoorziening niet mogelijk is wordt de schade bepaald op basis van de telersprijs van het gederfde produkt.

Bij akkerbouwgewassen wordt eveneens uitgegaan van de telersprijs van de gederfde produktie.

De schade als gevolg van een verminderde grasproduktie wordt berekend op basis van de kosten van aankoop van vervangend ruw- en krachtvoer. De berekende (netto) opbrengstdepressie wordt hiertoe uitgedrukt in een hoeveelheid voederwaarde.

Aangenomen wordt dat de helft hiervan wordt gecompenseerd door aankoop van krachtvoer en de helft door aankoop van ruwvoer. Met behulp van een door het Proefsta-

tion voor de Rundveehouderij (PR) ontwikkeld rekenmodel is het mogelijk de hoeveelheden aan te kopen ruw- en krachtvoer en de onderlinge verdeling in de situatie zonder en met waterwinning nauwkeurig te berekenen. Op deze wijze kan een betere aansluiting worden verkregen bij de in een bepaalde regio geldende gemiddelde situatie. Desgewenst kan op deze wijze ook een differentiatie naar bedrijfstype, bedrijfsgrootte e.d. worden toegepast.

Bepaling van de schadevergoeding op basis van een saldoberekening per koe is slechts relevant bij grote opbrengstdepressies waarbij 's zomers onvoldoende weidegras beschikbaar is voor beweiding. In een dergelijke situatie kan deze methode van schadeberekening worden toegepast in combinatie met de methode gebaseerd op aankoop van ruw- en krachtvoer.

In principe kan de schade het meest nauwkeurig worden berekend door het effect van de produktievermindering op het arbeidsinkomen in bedrijfsverband te bepalen. Dit is echter een weinig doorzichtige methode en vergt veel invoergegevens, met name bij de thans gangbare berekening van de schade van jaar tot jaar.

Uit praktische overwegingen en uit oogpunt van gewenste uniformiteit wordt bij de behandeling van aanspraken op schadevergoeding door de CoGroWa niet van een benadering per bedrijf uitgegaan, doch wordt voor alle bedrijven de schade berekend op basis van gegevens die als representatief voor het betreffende gebied kunnen worden beschouwd.

Bij verlaging van de grondwaterstand kan schade met betrekking tot de particuliere watervoorziening optreden, indien de winningsmiddelen als gevolg van deze verlaging niet meer of onvoldoende functioneren.

De schadevergoeding wordt vastgesteld op basis van de kosten van ondervangende maatregelen en de eventuele extra exploitatiekosten. Tevens wordt een vergoeding toegekend voor de kosten in de periode voordat tot het treffen van ondervangende maatregelen wordt overgegaan (aanloop- of beginschade).

De aard van de te treffen ondervangende maatregelen is sterk afhankelijk van het soort winningsmiddel en het gebruiksdoel van het water. Vergoeding van de schade vindt in principe plaats op basis van werkelijk gemaakte kosten. Eventueel kan hiervoor ook worden uitgegaan van normbedragen. Bij vergoeding van exploitatiekosten komen de kosten van leidingwater slechts ten dele (50%) voor vergoeding in aanmerking.

De aanloop- of beginschade wordt slechts eenmaal per winningsmiddel vergoed. Hiervoor worden normbedragen gehanteerd.

De hiervoor omschreven benadering wordt toegepast in gevallen waarbij de verlaging aan het eind van de zomer 25 cm of meer bedraagt. Aangenomen wordt dat bij een verlaging van minder dan 25 cm aan het eind van de zomer de schade de helft bedraagt van de berekende schade bij een verlaging van meer dan 25 cm.

Ten behoeve van de advisering over vergunningaanvragen worden de gevolgen voor de landbouw in principe op dezelfde wijze berekend als bij aanspraken op schadevergoeding. De eventuele schade wordt geklassificeerd naar de hoogte van de opbrengstdepressie en de oppervlakte waarover deze wordt verwacht. Er vindt derhalve geen berekening per perceel plaats. De uitwerking van de schade bij vergunningaanvragen is derhalve globaler dan bij aanspraken op schadevergoeding.

Bij de belangenafweging in het kader van advisering over vergunningaanvragen spelen een aantal factoren een rol, zoals de grootte van de te verwachten schade (zowel absoluut als procentueel) en de omvang van het invloedsgebied in relatie tot de grootte van de aangevraagde onttrekkingshoeveelheid, de mogelijkheid van compenserende maatregelen, de urgentie en het belang van de grondwaterwinning en de mogelijke alternatieven hiervoor.

Er zijn geen niveaus aan te geven waar boven of waar beneden winning wel of niet toelaatbaar wordt geacht, omdat de belangen per geval verschillen. Soms kunnen de belangen van de drinkwatersector en de landbouw worden geïntegreerd, bijvoorbeeld door een gunstige keuze van het verloop van de onttrekkingsgrootte in de tijd of door de plaats en de onttrekkingsgrootte van een winplaats zodanig te kiezen dat hiermee de ontwatering van een bepaald gebied kan worden geregeld.

Voor de bepaling van de landbouwkundige gevolgen dienen met name gegevens beschikbaar te zijn over de te verwachten verlagingen als gevolg van de voorgenomen onttrekking en het verloop hiervan in de tijd, een bodem- en Gt-kaart (1:25.000), de profielopbouw en de bodemfysische eigenschappen van de bodem. Tevens is een globale bodemgebruikskaart gewenst. Vooral bij te verwachten grote schade is het zinvol inzicht te hebben in de mogelijkheden van schadebeperkende maatregelen (bv. wateraanvoer ten behoeve van beregening of conservering).

INLEIDING

In 1977 is door de Commissie Grondwaterwet Waterleidingbedrijven (CoGroWa) de nota "Onderzoek ten behoeve van de afweging van belangen betrokken bij het grondwater" uitgebracht.

In die nota wordt onder meer - ingedeeld in een aantal categorieën - een overzicht gegeven van het onderzoek dat verricht moet worden om de gegevens te verkrijgen op basis waarvan een verantwoorde afweging van de bij het grondwater betrokken belangen kan plaatsvinden. Teneinde zich te kunnen uitspreken over een aantal verdere uitwerkingen van deze nota heeft de commissie een drietal werkgroepen ingesteld met betrekking tot respectievelijk de geohydrologische, de landbouwkundige en de ecologische aspecten van grondwateronttrekking.

Ook door de waterleidingbedrijven wordt aandacht besteed aan de genoemde problematiek. Zo heeft de KIWA-commissie - Commissie Invloed Grondwaterwinning op de Omgeving (CIGO) - eveneens een aantal werkgroepen ingesteld ter bestudering van de verschillende aspecten van grondwaterwinning. Om een optimale uitwisseling van informatie tussen de CoGroWa - en de CIGO-werkgroepen te waarborgen, zijn aan de eerstgenoemde werkgroepen vertegenwoordigers van de CIGO-werkgroepen als waarnemers toegevoegd.

In het voorliggende rapport wordt verslag gedaan van de bevindingen van de Werkgroep Landbouwkundige Aspecten.

De werkgroep heeft zich ten doel gesteld methoden en normen aan te geven voor het vaststellen en kwantificeren van de landbouwkundige gevolgen van grondwateronttrekking.

Deze doelstelling kon echter slechts ten dele worden gerealiseerd. Op grond van onderzoeksresultaten vindt de laatste jaren met name op het gebied van de grondwaterstroming in de onverzadigde zone en op het gebied van de relatie tussen waterverbruik en opbrengst van gewassen een verdieping van inzichten plaats. Dit geldt evenzeer ten aanzien van de beschikbare berekeningsmodellen. Naar verwachting zal deze ontwikkeling zich in de komende jaren voortzetten. De werkgroep achtte het daarom niet wenselijk strakke richtlijnen en normen op te stellen die mogelijk op korte termijn achterhaald kunnen worden door nieuwe inzichten. Het

rapport zou hierdoor een te star karakter krijgen waardoor het aan bruikbaarheid zou inboeten. Daarom is gekozen voor een meer algemene beschrijving van een aantal thans beschikbare methoden om de landbouwkundige gevolgen van grondwateronttrekking vast te stellen en te kwantificeren. Hierbij is aangegeven welke werkwijze thans door de CoGroWa wordt toegepast.

In het kader van de Grondwaterwet Waterleidingbedrijven kan bij de beoordeling van de landbouwkundige gevolgen van grondwateronttrekking onderscheid worden gemaakt tussen:

- a. het kwantificeren van de landbouwkundige gevolgen ten behoeve van de afweging van de diverse belangen bij de advisering inzake vergunningaanvragen voor grondwateronttrekking, en
- b. het kwantificeren van de landbouwkundige gevolgen ten behoeve van de behandeling van aanspraken op schadevergoeding.

Beoogd wordt om op basis van de onderhavige nota te komen tot:

- uniformiteit in de beoordeling en waardering van landbouwkundige aspecten van grondwateronttrekking met name bij het ontwerpen van voorstellen tot ondervanging dan wel vergoeding van de schade en bij de afweging van belangen ten behoeve van de advisering inzake vergunningaanvragen voor grondwateronttrekking;
- een snellere gang van zaken voor het bereiken van overeenstemming tussen belanghebbende partijen en/of betrokken instellingen c.q. diensten met betrekking tot de landbouwkundige aspecten van grondwateronttrekking;
- bevordering van en ondersteuning bij het aangaan van onderlinge regelingen tussen partijen;
- het leveren van instrumenten voor het schatten van de landbouwkundige gevolgen van een voorgenomen (uitbreiding van een) wateronttrekking, zodat eventueel op voorhand compenserende maatregelen getroffen kunnen worden, dan wel alternatieven voor de voorgenomen onttrekking ontwikkeld kunnen worden.

Het rapport is hoofdzakelijk gericht op de vaststelling van landbouwkundige gevolgen van grondwateronttrekking ten behoeve van schaderegelingen. In principe is de werkwijze ten behoeve van de belangenafweging, welke plaatsvindt in het kader van de advisering voor vergunningverlening dezelfde.

Bij het behandelen van aanspraken op schadevergoeding wordt in eerste instantie de gegrondheid van de aanspraak beoordeeld. Voor zover de aanspraak op schadevergoeding gegrond is, ontwerpt de commissie een voorstel tot ondervanging dan wel vergoeding van de schade als gevolg van de grondwateronttrekking. Als basis hiervoor dient de schade te worden berekend. Hiervoor staat een groot aantal modellen ter beschikking variërend van zeer globale empirische modellen tot zeer ingewikkelde fysische modellen. Deze modellen zijn belangrijke hulpmiddelen bij het kwantificeren van de schade.

De schadeberekening dient op een fysisch en bedrijfseconomisch verantwoorde wijze plaats te vinden. De nauwkeurigheid waarmee de schade berekend wordt hangt voor een groot deel af van de hoeveelheid, de kwaliteit en de gedetailleerdheid van de beschikbare dan wel de te verzamelen basisgegevens. Uiteraard is het steeds mogelijk door het verzamelen van grotere hoeveelheden en meer gedetailleerde gegevens de nauwkeurigheid van het eindresultaat (ogenschijnlijk) te vergroten. Het zal echter duidelijk zijn dat een schaderegeling waarbij de schade bij wijze van spreken per m² wordt vastgesteld zowel uit praktische overwegingen als uit een oogpunt van onderzoekskosten niet te realiseren is. Een zekere schematisering is derhalve noodzakelijk. Hierbij dient gestreefd te worden naar een zekere evenwichtigheid in de mate van detaillering van de verschillende onderdelen van de schadeberekening. Kennis van en inzicht in de gevoeligheid van de invoergegevens op de uitkomsten van de modelberekeningen zijn hierbij van groot belang. Voor een vlotte regeling van de schade is het wenselijk dat de schadeberekening overzichtelijk en doorzichtig is en dat de uitkomsten zo goed mogelijk aansluiten aan de praktijkervaring. Detailleringen en differentiaties die leiden tot verschillen in uitkomsten die niet als zodanig door de betrokkenen worden ervaren of onderkend, dienen daarom aan een kritische beschouwing onderworpen te worden. Dit geldt zowel voor aspecten die samenhangen met het plant-bodem systeem als voor de bedrijfseconomische aspecten van de schadeberekening.

Om de landbouwkundige gevolgen van een grondwateronttrekking te kunnen bepalen dient de invloed van de onttrekking op de grondwaterstand bekend te zijn. In hoofdstuk 1 wordt een aantal gangbare methoden beschreven om de optredende verlagingen van de grondwaterstand vast te stellen. Met name onderzoeksmethoden waarbij de verlagingen worden vastgesteld aan de hand van gemeten grondwaterstanden of door kartering van hydromorfe kenmerken zijn in dit hoofdstuk uitvoerig beschreven. Verlagsingsberekeningen op basis van modelstudies zijn in dit

rapport slechts zeer summier behandeld.

Voor een uitvoerige beschrijving hiervan wordt verwezen naar het rapport van de Werkgroep Geohydrologische Aspecten van Grondwaterwinning (CoGroWa, 1983).

In hoofdstuk 2 van het onderhavige rapport wordt ingegaan op de berekening van de opbrengstdepressies door vochttekort en de hiervoor benodigde basisgegevens. Hoofdstuk 3 handelt over de opbrengstdepressies als gevolg van wateroverlast. In hoofdstuk 4 wordt vervolgens een aantal methoden en uitgangspunten beschreven om de berekende opbrengstveranderingen als gevolg van de grondwaterontrekking om te zetten in schadebedragen.

Behalve schade aan gewassen kan door een verlaging van de grondwaterstand ook schade optreden met betrekking tot particuliere watervoorzieningen (veedrenking en/of watervoorziening van het bedrijf). De hiermee samenhangende aspecten worden besproken in hoofdstuk 5.

In hoofdstuk 6 wordt nader ingegaan op het kwantificeren van het landbouwbelang bij vergunningaanvragen.

Aan het eind van elk hoofdstuk is een paragraaf met conclusies en aanbevelingen opgenomen. Een uitgewerkt voorbeeld van een schadeberekening is als appendix bijgevoegd.

De werkgroep wil gaarne haar dank uitspreken voor de vele waardevolle opmerkingen, het ontvangen commentaar en suggesties voor verbeteringen die zij bij de samenstelling van dit rapport van verschillende zijden heeft ontvangen. In dit verband wordt met name de inbreng van de zijde van het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiëne vermeld.

1. DE INVLOED VAN DE ONTTREKKING OP DE GRONDWATERSTAND

1.1. INLEIDING

Het niveau van het grondwater is, voorzover dit voorkomt op een diepte van minder dan ca. 2 à 3 m beneden het maaiveld van grote betekenis voor de vochtvoorziening van de vegetatie. De grondwaterstandsdiepte is echter niet constant, doch is onder invloed van stromingsprocessen in zowel de verzadigde als de onverzadigde zone voortdurend aan verandering onderhevig. Het gemiddelde verloop van de grondwaterstand wordt gekarakteriseerd door middel van zogenaamde grondwatertrappen. In 1.2.1. wordt dit begrip nader toegelicht.

Door het onttrekken van grondwater kan de grondwaterstand in een bepaald gebied verlaagd worden. De mate van verlaging en de grootte van het invloedsgebied hangen behalve van de onttrekkingsgrootte sterk af van de geohydrologische en waterhuishoudkundige situatie in de omgeving van de winplaats. Voor de berekening van de opbrengstverandering van landbouwgewassen is met name de wijziging in het verloop van het ondiepe, freatische grondwater van belang.

In sommige gevallen kunnen ook landbouwbelangen in het geding zijn als gevolg van stijghoogteverlagingen in dieper gelegen watervoerende pakketten. Dit kan zich onder andere voordoen bij pompputten voor beregeningsdoeleinden en bronnen of putten ten behoeve van de watervoorziening van het bedrijf en/of het huishoudelijk waterverbruik waarvan de filters in dieper gelegen watervoerende pakketten zijn gesteld.

Enkele aspecten die bij de vaststelling van de verlaging een rol spelen worden in 1.2.2. in beschouwing genomen. In 1.3. wordt vervolgens een aantal methoden besproken voor het vaststellen van de optredende of te verwachten grondwaterstandsverlagingen. Ten slotte worden in 1.4. de belangrijkste conclusies en aanbevelingen samengevat.

1.2. ALGEMEEN

1.2.1. Karakterisering van het grondwaterstandsverloop

Bij relatief ondiepe grondwaterstanden vertoont de grondwaterspiegel onder in-

vloed van neerslag en verdamping een seizoensmatige fluctuatie. In de winter is de grondwaterstand van nature over het algemeen hoog. In de loop van het voorjaar en de zomer daalt de grondwaterstand. Aan het eind van de zomer/begin najaar wordt over het algemeen de laagste stand bereikt, waarna er weer een stijging optreedt.

Het gemiddelde verloop van de grondwaterstand wordt gekarakteriseerd door een indeling in grondwatertrappen (Gt's). Elke Gt is een combinatie van een bepaald traject voor de gemiddeld hoogste en de gemiddeld laagste grondwaterstand (GHG en GLG). Hieronder wordt verstaan het rekenkundig gemiddelde van de hoogste drie, respectievelijk de laagste drie grondwaterstanden per hydrologisch jaar (1 april - 31 maart) over een reeks van ten minste 8 achtereenvolgende jaren. Hierbij wordt uitgegaan van metingen op of omstreeks de 14e en de 28e van elke maand. In tabel 1 zijn de bij de grondwatertrappen behorende waarden van de GHG en de GLG aangegeven. De tussen haakjes vermelde waarden zijn indicatieve waarden; deze waarden fungeren niet als absolute klassegrenzen bij de indeling in Gt's.

Tabel 1: Indeling grondwatertrappen.

Grondwatertrap:	I	II	III	IV	V	VI	VII
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)

Binnen de grondwatertrappen II, III, V en VII wordt veelal een "droger deel" onderscheiden, hetgeen wordt aangegeven door toevoeging van een ster (*) achter de Gt-code, bv. Gt III*.

Voor zover het Gt II, III en V betreft, heeft het droger deel betrekking op gronden waarvan de GHG-waarde over het algemeen ligt in het traject dieper dan ca. 25 cm-mv. Binnen Gt II zal dat beperkt blijven tot enkele gebieden met een goede waterbeheersing. De drogere delen van Gt III en V komen vaak voor in gebieden waar, o.a. in het kader van ruilverkavelingswerken, verbeteringen in de ontwatering en de waterbeheersing zijn doorgevoerd. Ze kunnen worden omschreven als gronden waarvan de "pieken" in de hoogste grondwaterstanden zijn weggenomen, d.w.z. de hoge grondwaterstanden lopen minder hoog op, komen minder frequent voor en zijn van kortere duur, als gevolg waarvan de GHG is gedaald.

Gt VII* heeft betrekking op een "zeer droog deel", waarbij de GHG dieper dan 140 cm wordt verwacht.

Voor uitgebreidere informatie over de karakterisering van het grondwaterstandsverloop wordt verwezen naar de literatuur op dit gebied. (Van Heesen, 1971; Van der Sluijs en Van Egmond, 1976; Van der Sluijs, 1982).

1.2.2. Verlaging van de grondwaterstand

Vaststelling en schematisering van de verlaging

De verlaging van de grondwaterstand als gevolg van een onttrekking van grondwater is gelijk aan het verschil in de grondwaterstand in de situatie met onttrekking op een bepaald tijdstip, en de grondwaterstand zoals die geweest zou zijn in de situatie zonder onttrekking (de onbeïnvloede situatie) op datzelfde tijdstip. Omdat op een bepaald tijdstip altijd één niveau onbekend is kan de grootte van de verlaging niet door directe meting worden vastgesteld.

Voor het vaststellen van de optredende of te verwachten grondwaterstandsverlaging staan meerdere methoden ter beschikking. Hierbij kan onderscheid worden gemaakt tussen "verklarende" en "constaterende" onderzoeksmethoden. Bij de eerstgenoemde categorie worden de voor de berekening van de verlaging relevante parameters en relaties van het hydrologische systeem gekwantificeerd en samengevoegd tot een model waarmee het hydrologische systeem of bepaalde onderdelen hiervan kunnen worden gesimuleerd. De "constaterende" onderzoeksmethoden gaan uit van verzamelde en/of te verzamelen waarnemingsgegevens (o.a. grondwaterstanden, bodemkenmerken) op basis waarvan de optredende of opgetreden verlaging van de grondwaterstand kan worden vastgesteld.

De keuze van de methode wordt meestal in sterke mate bepaald door het al dan niet beschikbaar zijn van de noodzakelijke basisgegevens. Bij nieuw te stichten winplaatsen kan de te verwachten verlaging uitsluitend worden bepaald op basis van "verklarende" methoden (modelstudies). In geval van uitbreiding van bestaande winplaatsen kunnen zowel "verklarende" als "constaterende" methoden worden toegepast. Vaak beperkt het onderzoek zich niet tot toepassing van één methode, doch worden verschillende methoden gebruikt om de verlaging vast te stellen. Een combinatie van een analyse van gemeten grondwaterstanden met behulp van lineaire regressie en een hydrologische modelstudie vormen in dit opzicht een geschikte

benadering. De modelstudie en de regressie-analyse kunnen bij een reconstructie van de reeds optredende verlaging elkaars resultaten onderbouwen of aanvullen. Met behulp van het hydrologisch model kan daarna de te verwachten verlaging bij de aangevraagde onttrekkingshoeveelheid worden vastgesteld.

Naast de beschikbaarheid van gegevens kan ook het doel waarvoor de verlagingsberekening moet dienen, bepalend zijn voor de keuze van de onderzoeksmethode. Bij de afweging van belangen in het kader van vergunningaanvragen kan worden volstaan met een meer globale aanduiding van de optredende of de te verwachten verlagingen. Bij de behandeling van aanspraken op schadevergoeding kan de grootte van de optredende verlaging direct van invloed zijn op de hoogte van de schade-uitkering aan de betrokkenen. Voor het vaststellen van schadevergoedingen is daarom een grotere mate van nauwkeurigheid en detaillering vereist dan bij de behandeling van vergunningaanvragen.

Bij schadeberekeningen is de werkwijze sterk afhankelijk van de plaatselijke omstandigheden, het aantal en de lengte van de beschikbare reeksen grondwaterstandsgegevens. In de praktijk wordt per geval een combinatie van verschillende methoden en werkwijzen toegepast om de gevolgen van de wateronttrekking op de grondwaterstand vast te stellen. Het simultaan verrichten van "constaterend" en "verklarend" onderzoek kan ook hierbij de betrouwbaarheid van het eindresultaat ten goede komen.

Bij de berekening van de schade wordt meestal gewerkt met verlagingsklassen ter grootte van 10 cm, in die zin dat verlagingen tussen 5 en 15 cm worden geschematiseerd tot een verlaging van 10 cm, tussen 15 en 25 cm tot 20 cm enz. Als basis voor de verlagingsklassen wordt meestal uitgegaan van de verlaging van de GLG. Hierbij wordt impliciet verondersteld dat deze verlagingen overeenkomen met de gemiddelde verlaging aan het eind van het groeiseizoen bij een bepaalde onttrekkingshoeveelheid. Met eventuele jaarlijkse verschillen als gevolg van de wisselende meteorologische omstandigheden wordt hierbij geen rekening gehouden. Gebiedsdelen met verlagingen van minder dan 5 cm worden over het algemeen niet in de schadeberekening betrokken, omdat verlagingen in deze randgebieden veelal moeilijk of niet zijn aan te tonen, en de betrouwbaarheid van de vastgestelde verlaging dientengevolge gering is. Bovendien is de eventuele schade per ha bij deze minimale verlagingsgrootte zeer gering.

De verlaging in afhankelijkheid van plaats en tijd

De verlaging van de grondwaterstand bij een bepaalde onttrekkingsgrootte verschilt van plaats tot plaats afhankelijk van onder andere de afstand tot de winplaats en van de waterhuishoudkundige situatie.

In relatief laag gelegen gebieden met een intensief slotenstelsel wordt de onttrekkingsinvloed ten dele gecompenseerd door een versterkte voeding vanuit het oppervlaktewater, resulterend in een vermindering van de afvoer uit het gebied. De grondwaterstandsverlaging in deze gebieden is hierdoor doorgaans geringer dan in relatief hoog gelegen gebieden zonder oppervlaktewater.

Naast deze plaatselijke verschillen kunnen ook in de tijd gezien verschillen optreden in de grootte van de verlaging, indien er veranderingen optreden in de peilen van het oppervlaktewater of in de watervoerendheid van het slotenstelsel. Met name in relatief laag gelegen, vrij afwaterende zandgebieden kan de situatie in winter- en voorjaar in dit opzicht sterk afwijken van de situatie in de zomer. De verlaging van de grondwaterstand in deze gebieden is hierdoor in winter en voorjaar geringer dan in de zomer (Van Lanen en Heij, 1978).

Het verloop van de verlaging in de tijd kan worden benaderd met behulp van niet-stationaire stromingsmodellen. Voor een beschrijving van deze modellen en de toepassing hiervan wordt verwezen naar het rapport van de Werkgroep Geohydrologische Aspecten van Grondwaterwinning (CoGroWa, 1983).

Bij de behandeling van aanspraken op schadevergoeding wordt het verloop van de verlaging in de tijd veelal in rekening gebracht door de verlaging van de GHG en de GLG afzonderlijk te schatten, op basis van kartering van bodemkenmerken. Deze methode is uitvoerig beschreven in paragraaf 1.3.3. Eventueel kunnen de resultaten worden aangevuld of onderbouwd met hydrologische modelberekeningen. Bij vergunningaanvragen moet hiervoor, vanwege het voorspellend karakter gebruik worden gemaakt van hydrologische modellen.

Soms wordt voor de differentiëring van de verlagingen in de tijd gebruik gemaakt van een empirisch vastgesteld verband tussen de verlaging van de GHG en de verlaging van de GLG per Gt. Dit verband is gebaseerd op de in het waterwingebied te Losser gevonden relatie tussen de verlaging van de GHG en de GLG (Rijtema, 1974). Aangezien het verband tussen de verlaging van de GHG en de GLG door verschillen in de geohydrologische en waterhuishoudkundige situatie niet éénduidig is, is de door Rijtema gegeven relatie moeilijk of niet overdraagbaar naar andere gebieden.

Het zonder meer toepassen van dit verband in hydrologisch sterk afwijkende gebieden zoals poldergebieden, kleigronden e.d. dient op grond van het bovenstaande te worden ontraden. Ook in min of meer vergelijkbare gebieden dient het gebruik van deze relatie echter met het nodige voorbehoud te worden omgeven.

1.3. METHODEN TER BEPALING VAN DE VERLAGING

1.3.1. Modelberekeningen

Met behulp van modellen worden op basis van gegevens over doorlaatvermogen, hydraulische weerstanden van bodemlagen etc. de verlagingen als gevolg van een bepaalde onttrekking berekend. Modelstudies dragen dientengevolge het karakter van "verklarend" onderzoek; dit in tegenstelling tot de hierna genoemde methoden welke tot de "constaterende" onderzoeksmethoden gerekend worden. Modelberekeningen kunnen worden uitgevoerd voor meerdere onttrekkingsituaties en voor verschillende omstandigheden.

Vanwege het verklarend karakter worden modelberekeningen veelvuldig toegepast om de verlagingen als gevolg van een voorgenomen onttrekking of winningsuitbreiding te berekenen. Ze vormen in dit verband een belangrijk hulpmiddel bij de beoordeling van de landbouwkundige gevolgen in het kader van vergunningaanvragen.

In combinatie met "constaterende" onderzoeksmethoden kunnen modelstudies ook toegepast worden om de optredende verlagingen bij bestaande onttrekkingen (schadeonderzoek) vast te stellen. Met name voor het vaststellen van het ruimtelijke verlagingsbeeld en het tijdsafhankelijke gedrag van de verlagingen kunnen modelstudies zeer bruikbare aanvullende informatie verschaffen. Omgekeerd kunnen de resultaten van de "constaterende" onderzoeksmethoden gebruikt worden voor de calibratie van het model. Het simultaan verrichten van "verklarend" en "constaterend" onderzoek voor het vaststellen van optredende of opgetreden verlagingen kan in dit opzicht in belangrijke mate bijdragen tot een vergroting van de betrouwbaarheid van de einduitkomsten.

De modellen kunnen naar soort worden onderverdeeld in: analytische modellen, analoge modellen en numerieke modellen. Een beschrijving hiervan valt buiten het kader van dit rapport; hiervoor wordt verwezen naar het rapport van de Werkgroep Geohydrologische Aspecten van de Commissie Invloed Grondwaterwinning op de Omge-

ving (KIWA, 1980) en het rapport van de CoGroWa Werkgroep Geohydrologische Aspecten van Grondwaterwinning (CoGroWa, 1983).

1.3.2. Analyse van gemeten grondwaterstanden

In geval van bestaande grondwateronttrekkingen kunnen bij aanwezigheid van voldoende gegevens de verlagingen worden berekend door statistische bewerking van gemeten grondwaterstanden.

Hiervoor is een aantal methoden beschikbaar:

- statistisch toetsen van verschuiving van gemiddelden vóór en na de startdatum van onttrekking;
- trendanalyse van de waarnemingsreeks met behulp van statistische voorspellingsmodellen (bijvoorbeeld Markov- of Box-Jenkins-modellen);
- tijdreeksanalyse van grondwaterstanden vóór en na de startdatum van de onttrekking (lineaire regressie, Kalmanfilter, Box-Jenkins model).

Defize (1983) heeft in een verkennend onderzoek de resultaten van een aantal methoden (o.a. lineaire regressie, het Box-Jenkins model en het Kalmanfilter) met elkaar vergeleken. De uitkomsten bleken goed met elkaar overeen te stemmen omdat alle methoden zijn gebaseerd op lineaire modellen. Ten aanzien van het gebruik van het Kalmanfilter, waarbij meer fysische informatie wordt ingebouwd vindt nader onderzoek plaats (Van Geer and Van der Kloet, 1983).

De meest gebruikte methode voor het vaststellen van verlagingen op basis van gemeten grondwaterstanden is de lineaire regressie-analyse. De essentie van deze methode is het werken met referentiebuizen; het natuurlijke fluctuatie patroon wordt als het ware als referentie-niveau voor de bepaling van de opgetreden verlagingen gebruikt. De werkwijze hierbij is onderstaand globaal weergegeven. Over een periode vóór de wateronttrekking of een periode met een zo constant mogelijke onttrekking (ijkingsperiode of correlatieperiode) wordt het verband bepaald tussen de gemeten grondwaterstanden in de peilbuis waarvan de verlaging moet worden vastgesteld en de grondwaterstanden in één of meer peilbuizen buiten het invloedsgebied van de onttrekking (zgn. referentiebuizen). Het verband wordt

vastgelegd in een lineaire regressievergelijking. Op basis van deze regressievergelijking en de gemeten grondwaterstanden in de referentiebuizen worden vervolgens over een periode met een andere onttrekkingsgrootte (toepassingsperiode), de grondwaterstanden in de beïnvloede peilbuis berekend. In feite worden hierbij de grondwaterstanden berekend zoals deze geweest zouden zijn indien de onttrekking niet zou zijn veranderd, dan wel niet zou hebben plaatsgevonden. De verschillen tussen de in deze peilbuis gemeten (Observed) grondwaterstanden en de berekende (Calculated) grondwaterstanden, de zogenaamde (O-C) waarden, zijn in principe een gevolg van de (verandering in de) onttrekking en worden geacht overeen te komen met de opgetreden grondwaterstandsverlaging in de peilbuis. Door statistische toetsing van de berekende gemiddelde (O-C) waarde kan een indruk worden verkregen van de "hardheid" van de aldus berekende verlagingen. In sommige gevallen is het mogelijk de onttrekkingsom per tijdseenheid direct, dan wel indirect via de berekende (O-C) waarden, in de regressie-analyse te betrekken (Stol, 1977). Hierbij wordt er echter vanuit gegaan dat er een lineaire relatie bestaat tussen de grootte van de onttrekking en de verlaging. Zoals reeds in par. 1.1. is vermeld, vertoont de verlaging in veel gevallen echter seizoensmatige fluctuaties, waardoor de verhouding tussen verlaging en onttrekking niet constant is. Dit is evenmin het geval indien als gevolg van toename van de onttrekking waterlopen droog vallen of reducties in de aktuele verdamping optreden. Het invoeren van onttrekkingscijfers als variabele in de regressieberekeningen tussen peilbuis en referentiebuizen als ook het lineair relateren van de berekende (O-C) waarden aan de onttrekkingscijfers dient daarom met het nodige voorbehoud te worden omgeven.

Grondwaterstandsanalyse door middel van regressieberekeningen kan, indien zowel in de ijkingsperiode als in de toepassingsperiode voldoende, van elkaar onafhankelijke gegevens beschikbaar zijn, een nauwkeurig beeld geven van de opgetreden verlaging in de betreffende peilbuis en het verloop hiervan in de tijd. Voor het vaststellen van het verlagingsspatroon zijn meerdere peilbuizen nodig op verschillende afstanden en in verschillende richtingen vanaf de winplaats. Het aantal benodigde peilbuizen om het verlagingsspatroon vast te kunnen stellen is sterk afhankelijk van de plaatselijke geohydrologische omstandigheden en de mate van heterogeniteit hierin. Bij de keuze van de referentiebuizen dient met name te worden gelet op eventuele kunstmatige ingrepen in de waterhuishouding tijdens de periode van onderzoek waardoor het verband tussen peilbuis en referentiebuis intussen kan zijn verstoord. De referentiebuizen dienen zodanig gekozen te wor-

den dat het grondwaterstandsverloop in de peilbuis hiermee met een zo groot mogelijke nauwkeurigheid kan worden beschreven.

De theoretische achtergronden en de praktische uitgangspunten bij toepassing van de regressie-analyse voor berekening van de grondwaterstandsverlagingen zijn uitgebreid beschreven door o.a. Stol (1973) en de Werkgroep Geohydrologische Aspecten van de Commissie Invloed Grondwaterwinning op de Omgeving (KIWA, 1980).

1.3.3. Kartering van bodemkenmerken

Bij deze methode wordt de verlaging afgeleid uit de ten gevolge van de grondwateronttrekking ontstane veranderingen in profielkenmerken. Gezien het specialistische karakter van deze methode is voor het toepassen hiervan de medewerking van een bureau of instelling met specifieke deskundigheid op dit gebied onontbeerlijk. Ter verduidelijking zijn in het onderstaande de methode en de hieraan ten grondslag liggende principes uitgebreider beschreven dan de hiervoor behandelde methoden. In eerste instantie wordt een beschrijving gegeven van de voor dit doel belangrijkste profielkenmerken (hydromorfe kenmerken) en de relatie tussen deze kenmerken en de grondwaterstand. Vervolgens wordt aandacht geschonken aan de wijze waarop op basis van deze kenmerken het "oude" en het "nieuwe" grondwaterstandsverloop wordt vastgesteld.

Hydromorfe kenmerken

De kenmerken die gebruikt worden om het verloop van de grondwaterstand te schatten zijn: profielopbouw, profielontwikkeling, gleyverschijnselen, structuur, fysische rijpingstoestand en doorlatendheid van de ondergrond. Omdat deze profielkenmerken samenhangen met, of zijn ontstaan door de aanwezigheid van water in de bodem, worden deze kenmerken aangeduid als hydromorfe kenmerken. Met name de gleyverschijnselen zijn van belang voor het vaststellen van het grondwaterstandsverloop. Hieronder worden verstaan de bruine en grijze vlekken, strepen en horizonten in de bodem, die bepaald worden door de aard en de hoeveelheid van de ijzerverbindingen en door de afwisselende oxyderende en reducerende omstandigheden. Men spreekt dan ook wel van oxydatie-(roest) en reductieverschijnselen. Gleyverschijnselen komen voor in alle lage gronden die een zekere invloed van het grondwater hebben. De aard en duidelijkheid ervan worden echter niet uitsluitend bepaald door de ontwateringstoestand doch ook door de textuur en de

structuur van het profiel. De gleyverschijnselen van verschillende gronden met een zelfde ontwateringstoestand behoeven daarom niet gelijk te zijn. Schatting van het grondwaterstandsverloop aan de hand van hydromorfe kenmerken in zandgronden is meestal gemakkelijker dan in kleigronden. Mede om deze reden vindt het vaststellen van opgetreden grondwaterstandsdalingen door middel van kartering van bodemkenmerken vrijwel uitsluitend toepassing in zandgebieden. In het onderstaande wordt voor zandgronden een summiere beschrijving gegeven van de relevante profielkenmerken. Voor uitvoerige beschouwingen over deze materie wordt verwezen naar de literatuur op dit gebied met name De Bakker en Schelling (1966), Knibbe (1969) en Van Heesen (1971).

De in het profiel aanwezige roest- en reductieverschijnselen worden gekenmerkt door kleurverschillen. Het profielgedeelte dat zich permanent in het grondwater bevindt, is meestal egaal donkergrijs van kleur. Deze zone wordt aangeduid als G-horizont en is geheel "gereduceerd".

De GLG komt in de gleygronden (gronden met gleyverschijnselen in het profiel) ongeveer overeen met de bovengrens van de G-horizont. In de hierboven liggende zone met fluctuerende grondwaterstanden treden zowel reductie- als oxydatieverschijnselen op. Oxydatie van ijzer in het profiel treedt op op plaatsen waar lucht binnendringt. Anderzijds kan in periodiek met water verzadigde zone reductie optreden. Dit reductieproces wordt sterk bevorderd door de aanwezigheid van gemakkelijk aantastbaar organisch materiaal.

Deze zone (de Cg-horizont) wordt derhalve gekenmerkt door de aanwezigheid van bruine roestvlekken naast grijze gereduceerde vlekken. Het aantal en de grootte van de vlekken varieert met de diepte, dat wil zeggen hoe ondieper, hoe meer roestvlekken en hoe minder grijze vlekken. In de meeste gleygronden komt het niveau, waarop de "eerste duidelijke reductievlekken" optreden, ongeveer overeen met dat van de GHG. In de zwaardere varianten van de gleygronden ligt de GHG iets beneden dit niveau. Boven in het profiel, in de zone die nagenoeg permanent boven de grondwaterspiegel ligt, is de matrix-kleur homogener.

Omdat gley te maken heeft met het gedrag van ijzerverbindingen, vertonen ijzerarme gronden, zoals lage humuspodzolen, geen gleyverschijnselen, althans niet in de hier bedoelde zin. In deze gronden ontbreken meestal de roestvlekken in de Cg-horizont. IJzerarme horizonten worden gekenmerkt door een Cg-horizont met blekingsverschijnselen en een homogeen bleek gekleurde G-horizont. Het vaststellen van het grondwaterstandsverloop aan de hand van hydromorfe kenmerken levert

in dergelijke gronden aanzienlijk meer problemen op dan in ijzerhoudende zandgronden. Uit de karteringspraktijk is gebleken dat in gronden met relatief ondiepe grondwaterstanden en een kleine fluctuatie, de hydromorfe kenmerken gemakkelijker gevormd en waarneembaar zijn dan in hogere gronden met een grote fluctuatie dan wel met relatief diepe grondwaterstanden.

Actuele en fossiele profielkenmerken

Profielkenmerken en met name de gleyverschijnselen kunnen fossiel zijn, dat wil zeggen dat zij een gevolg zijn van thans niet meer aanwezige omstandigheden. Over de snelheid waarmee deze kenmerken zich in het profiel aftekenen is nauwelijks iets bekend. Bij veranderingen in het grondwaterregiem kunnen in sommige gronden al na enkele jaren aanwijzingen verkregen worden over de actuele fluctuatie. Bij andere gronden, zijn dan nog geen verschijnselen waarneembaar die de verandering aanduiden. Uit onderzoek van Domhof (1958) blijkt dat van de gleyverschijnselen vooral de reductievlekken zich snel kunnen aanpassen aan gewijzigde hydrologische omstandigheden. Knibbe (1969) constateert aan de hand van modelproeven dat reductievlekken zelfs binnen een tijdsverloop van enkele weken ontstaan. Het blijkt dat reductieverschijnselen zich sneller dan roestvlekken aanpassen aan gewijzigde hydrologische omstandigheden.

Bij grondwaterstandsverlaging zullen de oppervlakkig voorkomende reductieverschijnselen vrij snel kunnen worden geoxydeerd, maar het zal in geval van een stijging van het grondwater vrij veel tijd kosten om de roest te reduceren. Samenvattend kan worden gezegd, dat bij grondwaterstandsverlaging roestvlekken in het bovenste deel van de gleygronden, althans ten dele, fossiel zijn en in het onderste deel van het profiel actueel. De reductie- en blekingsvlekken zijn geheel of overwegend actueel. In veel gevallen overlappen de actuele en fossiele verschijnselen elkaar en zijn niet of nauwelijks van elkaar te onderscheiden. Gezien de dynamiek van het ontstaan van de relevante profielkenmerken kunnen in het algemeen geen uitspraken worden gedaan inzake de datering. Langdurige stilstandsperioden in de waterhuishouding zullen zich doorgaans aftekenen in het profiel. Bij schoksgewijze ingrepen als toenemende verlagingen kan de eindtoestand meestal wel vastgesteld worden. De tussenliggende stadia laten zich aan de hand van hydromorfe kenmerken niet herkennen.

Bepaling van de "oude" en "nieuwe" GLG en GHG

Het zal duidelijk zijn dat de vaststelling van de GLG en GHG op basis van hydromorfe verschijnselen niet altijd en overal op dezelfde wijze uitvoerbaar is. Behalve dat de kenmerken in de verschillende gronden niet gelijk zijn, treden bij dezelfde gronden gebiedsgewijs nog verschillen op. Dit betekent, dat men steeds de mogelijkheid moet hebben de kenmerken te toetsen aan gemeten of berekende grondwaterstanden, om tot verantwoorde schattingen te komen.

Bij de bepaling van de oude GLG wordt gebruik gemaakt van de in het profiel aanwezige hydromorfe kenmerken. Verschillen in roest en reductieverschijnselen, vage kleurveranderingen, de aanwezigheid van houtresten enz. verschaffen aanwijzingen over het niveau van de oude GLG. Daarnaast geven veldkenmerken als begroeiing, begreppeling en ook de bodemgesteldheid aanvullende informatie omtrent het vroegere grondwaterstandsverloop. Problemen doen zich voor bij diep doorgaande bruine podzol-B-horizonten, bij ijzerarme en/of grove zanden en bij aanwezigheid van zware, storende lagen (keileem met fossiele roest).

Een belangrijk hulpmiddel bij het verkrijgen van inzicht in het oorspronkelijke grondwaterstandsverloop is een isohypsenkaart op basis van grondwaterstandsgegevens van het COLN¹-onderzoek (1952-1955). Voor karakteristieke data uit deze periode kan desgewenst een iso-GLG-kaart ten opzichte van NAP worden afgeleid. Met behulp van hoogtecijfers van het maaiveld kan vervolgens ter plaatse van boringen de oude GLG worden gereconstrueerd. De geschatte oude GLG tijdens de kartering wordt vergeleken met de berekende waarde. Vrij vaak bestaat er, vooral in gronden zonder storende lagen, goede overeenstemming. Soms dient de schatting herhaald te worden. Deze werkwijze is uiteraard alleen toepasbaar indien tijdens de COLN-periode de grondwaterstand niet door de onttrekking werd beïnvloed of indien de grootte van de eventuele beïnvloeding in deze periode bekend is.

De oude GHG op basis van hydromorfe kenmerken is veelal moeilijker vast te stellen. Bij gerealiseerde grondwaterstandsverlaging zijn door ingrepen als ploegen enz. de kenmerken veelal verdwenen. In ongestoorde profielen treedt vervaging van kenmerken op. De iso-GHG-kaart, die uiteraard een veel onrustiger figuratie heeft dan de iso-GLG, is hier geen bruikbaar hulpmiddel. De weinige aanwijzingen van de oude GHG worden nochtans genoteerd en samengebracht met informatie van de

¹ COLN = Commissie Onderzoek Landbouwwaterhuishouding Nederland.

berekende oude GHG, uitgaande van de oude GLG en de grootte van de vroegere grondwaterstandsfluctuatie. Deze laatste wordt ontleend aan stambuisgegevens en/of aan COLN-gegevens van de periode vóór de winning.

De vaststelling van de huidige of nieuwe GLG geschiedt veelal op grond van kleuromslag in het profiel: bleekgrijs materiaal met recente roestvlekken gaat over in grijsblauw, roestarm materiaal. Hierbij wordt eveneens gebruik gemaakt van recente grondwaterstandsgegevens van reeds bestaande dan wel speciaal voor dit doel geplaatste peilbuizen. Deze gegevens worden, rekening houdend met het tijdstip van de opname, in samenhang met de geschatte nieuwe GLG bekeken. Ook kan een momentopname in buizen en/of boorgaten verricht worden op een tijdstip dat onbeïnvloede buizen het niveau van de GLG bereikt hebben. Bij voorkeur wordt hiervoor gebruik gemaakt van stambuizen met langjarige meetgegevens waaruit langs rekenkundige weg de waarde van de GLG en GHG bepaald kan worden.

Het schatten van de nieuwe GHG op basis van profielkenmerken is meestal onuitvoerbaar door het ontbreken van relevante hydromorfe kenmerken. De nieuwe GHG kan evenwel worden vastgesteld op basis van de grootte van de grondwaterfluctuaties en de nieuwe GLG. Bij het vaststellen van de fluctuatie wordt zowel gelet op de aard en textuur van het profiel als op het niveau waar zich het huidige grondwaterstandsverloop afspeelt. Superpositie van de fluctuatie op de nieuwe GLG levert ten slotte de nieuwe GHG. Vaak is de periode met grondwaterstandsgegevens van de nieuwe situatie te kort om de fluctuatiegrootte nauwkeurig vast te stellen. Ter aanvulling kan een momentopname in het voorjaar worden verricht ter bepaling van de GVG waaruit de GHG weer wordt afgeleid (zie blz. 47).

Bij het schatten van de GHG en GLG tijdens de kartering moet rekening gehouden worden met de dan heersende grondwaterstand. Als deze als gevolg van natte weersomstandigheden op het tijdstip van de veldopname hoger is dan normaal, moet erop worden gelet dat de GHG niet te hoog geschat wordt. Omgekeerd dient bij diepe grondwaterstanden de GLG niet te diep geschat te worden. Bij voorkeur moeten de schattingen dan ook plaatsvinden in perioden met meer "normale" grondwaterstanden.

Teneinde de onnauwkeurigheid binnen aanvaardbare grenzen te houden is het noodzakelijk een redelijk aantal punten buiten het invloedsgebied (referentiepunten) in het onderzoek te betrekken. Aan de onnauwkeurigheid in de kartering van de profielkenmerken per punt kan worden tegemoet gekomen door een zekere vereffe-

ning toe te passen aan de hand van omringende punten en door toetsing van de schattingen met behulp van gereconstrueerde isohypsenpatronen van de grondwaterstand vóór de onttrekking. Ondanks de genoemde onnauwkeurigheden kan door het relatief grote aantal waarnemingspunten (ca. 1 per 2 ha) op deze wijze een goed beeld worden verkregen van de optredende verlagingen. Door voorafgaand aan of tijdens de kartering een aantal peilbuizen te plaatsen, bij voorkeur in een aantal raaien over het wingebied, kan het geschatte grondwaterstandsverloop in de beïnvloede situatie achteraf getoetst worden.

1.3.4. Overige methoden

Naast de bovenomschreven methoden voor bepaling van de grondwaterstandsverlaging ten gevolge van wateronttrekking wordt in sommige gevallen een methode toegepast gebaseerd op bepaling van absolute grondwaterstandsverschillen in perioden met een verschillende onttrekkingsgrootte. Hierbij zijn twee werkwijzen te onderscheiden: één waarbij de verschillen worden bepaald op basis van speciaal voor dit doel gecreëerde onttrekkingsverschillen over een korte periode (proefpomp); en één gebaseerd op onttrekkingsverschillen over een langere periode (grondwaterstandsraaien). Beide werkwijzen zullen in het onderstaande worden toegelicht.

Proefpomp

In de omgeving van de winplaats wordt een groot aantal peilbuizen geplaatst. Deze kunnen in een aantal raaien geplaatst worden die elkaar kruisen in het centrum van de winplaats, dan wel in een netwerk regelmatig over het invloedsgebied worden verdeeld. De dichtheid van het peilbuizennet hangt sterk af van de plaatselijke situatie doch kan globaal gesteld worden op 1 peilbuis per 15 à 20 ha. Bij de situering van de peilbuizen in het terrein wordt tevens rekening gehouden met de bodemkundige en waterhuishoudkundige situatie.

Bij de uitvoering van de proef wordt ter verkrijging van een vergelijkingsniveau (nulsituatie) de onttrekking gedurende een zekere periode teruggebracht tot een minimale doch constante onttrekkingshoeveelheid, dan wel volledig gestopt. Tijdens deze periode wordt de grondwaterstand in de peilbuizen gemeten met een frequentie van éénmaal per 2 à 3 dagen. Nadat een stationaire stromingssituatie is ontstaan, wordt de onttrekkingshoeveelheid abrupt verhoogd tot een constant

maximaal debiet. Gedurende 1 à 2 weken na het begin van deze vergrote onttrekking worden de peilbuizen dagelijks en vervolgens éénmaal per 2 à 3 dagen waargenomen. De verhoogde onttrekking wordt voortgezet totdat zich een nieuwe stationaire stromingssituatie heeft ingesteld. De beoordeling of er een stationaire stromingssituatie is bereikt, vindt plaats aan de hand van de gemeten grondwaterstanden. Aangenomen wordt dat dit het geval is indien de grondwaterstandsverlagingen in de tijd gezien geen relatie meer vertonen met de afstand tot de winplaats.

De onttrekkingsinvloed wordt afgeleid uit de per peilbuis vast te stellen verschillen in grondwaterstand in de beide stationaire stromingssituaties. Deze verschillen worden vervolgens gecorrigeerd voor de van nature opgetreden veranderingen, afgeleid uit grondwaterstandsmetingen in referentiebuizen buiten het beïnvloede gebied.

Aangezien de van nature optredende verschillen plaatselijk kunnen variëren als gevolg van verschillen in neerslaghoeveelheid, in waterhuishoudkundige en in bodemkundige situatie, is het noodzakelijk een vrij groot aantal peilbuizen buiten het invloedsgebied in het onderzoek te betrekken. Een voorbeeld van een dergelijk onderzoek wordt gegeven door Reitsma (1980).

De methode geeft een momentopname van de verlaging. Voor het verkrijgen van informatie over de variatie van de verlagingen in de tijd zou de proef onder andere hydrologische en meteorologische omstandigheden herhaald moeten worden. Veelal stuit dit echter op praktische bezwaren in verband met de exploitatie van het pompstation. Een andere moeilijkheid bij de interpretatie van de verkregen gegevens is de vraag in hoeverre de kunstmatig gecreëerde verlagingen als gevolg van een kortstondige onttrekkingstoename (enkele weken) als maatgevend kunnen worden beschouwd voor de verlagingen als gevolg van een permanente onttrekking. Met name bij onttrekking onder slecht doorlatende lagen is voor het verkrijgen van een stationaire stromingssituatie een periode van enkele maanden (Olsthoorn, 1983) tot meer dan een jaar noodzakelijk (zie ook Van Lanen en Hey, 1978). Dit kan alleen bij winplaatsen die nog niet in produktie zijn.

Het onderzoek door de Werkgroep Uitbreiding Waterwinning Pompstation Fikkersdries (1978) en de Werkgroep Wateronttrekking Gelderse Vallei (1979) zijn hier voorbeelden van. Ook bij onttrekking aan het freatisch grondwater kan de interpretatie van de gegevens echter bemoeilijkt worden door de relatief korte duur van de pompproef.

Methode grondwaterstandsraaien

Bij de hiervoor beschreven methode worden de vast te stellen grondwaterstandsverschillen gecreëerd door speciaal ten behoeve van het onderzoek bewerkstelligde onttrekkingsverschillen. Bij de onderhavige werkwijze daarentegen zijn de verschillen in de grondwaterstand het gevolg van de "natuurlijke" onttrekkings-toename door het pompstation. De vergelijking van het grondwaterstandsniveau zal zich daarom veelal over een periode van meerdere jaren en soms over meerdere decennia uitstrekken. Gestreefd wordt meestal naar een zo lang mogelijke periode teneinde een zo groot mogelijk onttrekkingsverschil in de vergelijking te betrekken. Naarmate de periode langer is neemt echter de kans toe dat de vergelijking bemoeilijkt wordt door versturende invloeden van bijvoorbeeld uitgevoerde waterbeheersingswerken, ontwateringsmaatregelen en/of particuliere en industriële onttrekkingen. Behalve door bovenstaande factoren wordt de keuze van de vergelijkingsperiode sterk bepaald door de beschikbaarheid van voldoende peilbuiswaarnemingen.

Voor het vaststellen van het huidige grondwaterniveau wordt het bestaande peilbuisennet veelal uitgebreid. De bij te plaatsen peilbuizen worden zodanig gesitueerd dat met gebruikmaking van zoveel mogelijk bestaande peilbuizen een aantal raaien over de winplaats ontstaat. Tegelijkertijd worden uitvoerige profielbeschrijvingen vervaardigd, waarbij de nadruk valt op de schatting van de oude GHG en GLG op basis van hydromorfe kenmerken.

Voor het vaststellen van de opgetreden wijzigingen in de grondwaterstand wordt de situatie zonder onttrekking (of met een geringere onttrekking dan thans), zo goed mogelijk gereconstrueerd. Hierbij wordt gebruik gemaakt van peilbuiswaarnemingen uit de vroegere periode. Hiaten in het beeld van de vroegere situatie zijn soms op te vullen of te construeren met isohypsenkaarten van de oude toestand (bijvoorbeeld uit de COLN-periode) en met hydromorfe kenmerken van de geschatte oude GHG en GLG. In andere gevallen zal voor de reconstructie worden uitgegaan van het aannemelijk geachte grondwaterstromingsbeeld in de vroegere situatie, daarbij rekening houdend met de plaatselijke topografie en de waterhuishoudkundige situatie. De in raaiverband over de winplaats geplaatste buizen kunnen na waterpassing gebruikt worden voor het samenstellen van schematische doorsneden. Hierin kunnen behalve maaiveldsgegevens en de positie van storende lagen vooral de schattingswaarden van GHG en GLG, alsook gemeten grondwaterstanden, zowel recente als op karakteristieke data uit het verleden, worden afgebeeld.

Evenals bij de hiervoor beschreven methode wordt de verlaging ten gevolge van de onttrekkingstoename vastgesteld op basis van de verschillen in grondwaterstand in de te vergelijken periode, nadat deze verschillen zijn gecorrigeerd voor van nature optredende verschillen en verschillen als gevolg van eventueel andere kunstmatige invloeden. Voor het vaststellen van de grootte van deze natuurlijke en eventueel andere kunstmatige invloeden, dient een groot aantal peilbuizen buiten het invloedsgebied in beschouwing te worden genomen.

De mate van nauwkeurigheid waarmee de grondwaterstandsverlagingen kunnen worden vastgesteld is bij deze methode sterk afhankelijk van de betrouwbaarheid waarmee de vroegere, onbeïnvloede situatie kan worden gereconstrueerd. Naarmate er minder gegevens beschikbaar zijn en naarmate het grondwaterstromingsbeeld een grilliger verloop heeft is het moeilijker om de oude toestand nauwkeurig te reconstrueren. De nauwkeurigheid van het vastgestelde verlagingsbeeld kan worden verhoogd door de berekening voor meerdere tijdstippen uit te voeren. Hiermee kan tevens inzicht worden verkregen in de optredende verlagingen onder verschillende hydrologische omstandigheden. Bakker (1984) pastte deze methode toe om de verlagingen als gevolg van de wateronttrekking door een tweetal pompstations te worden vast te stellen.

1.4. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

- Bij een nieuw te stichten winplaats kan de te verwachten verlaging uitsluitend bepaald worden op basis van (voorspellende) modelberekeningen.
- In geval van uitbreiding van bestaande winplaatsen is een combinatie van een regressie-analyse van gemeten grondwaterstanden en een hydrologische modelstudie thans de meest geschikte benadering. De modelstudie en de regressie-analyse kunnen bij een reconstructie van de reeds optredende verlaging elkaars resultaten onderbouwen of aanvullen. Met behulp van het hydrologisch model wordt vervolgens de verlaging bij de gevraagde onttrekingshoeveelheid berekend.
- De keuze van de meest geschikte methode voor de verlagingsbepaling bij schadeberekeningen is sterk afhankelijk van de plaatselijke omstandigheden en aantal en lengte van de beschikbare reeksen grondwaterstandsgegevens. In de praktijk wordt per geval een combinatie van verschillende methoden en werkwijzen toegepast om de gevolgen van de wateronttrekking op de grondwaterstand vast te stellen. Het simultaan verrichten van "constaterende" methoden, gebaseerd op gemeten grondwaterstanden of afgeleiden hiervan, en "verklarende" methoden verdient in dit verband aanbeveling.
- Voor de afweging van belangen bij advisering over vergunningaanvragen kan worden volstaan met een minder gedetailleerde vaststelling/berekening van de optredende c.q. te verwachten verlaging van de grondwaterstand, dan bij de afhandeling van aanspraken op schadevergoeding.
- Voor de kwantificering van de landbouwkundige gevolgen, zowel ten behoeve van de advisering over vergunningaanvragen als voor de behandeling van aanspraken op schadevergoeding dient de verlaging van grondwaterstand gedifferentieerd in de tijd (zomer/winter) te worden vastgesteld, tenzij op grond van de hydrologie kan worden aangenomen dat de verlaging tijdsafhankelijk zal zijn. Bij vergunningaanvragen moet vanwege het voorspellend karakter, hiervoor gebruik worden gemaakt van hydrologische modellen. Ten behoeve van schadeberekeningen (bepaling achteraf) kan het verloop van de

verlaging worden vastgesteld op basis van "constaterende" onderzoeksmethoden, eventueel aangevuld of onderbouwd met hydrologische modelberekeningen.

- Een differentiatie in de tijd op basis van grondwatertrappen mag gelet op het globale karakter hiervan alleen worden toegepast voor indicatieve berekeningen en voor gevallen waarin het niet lonend is modelberekeningen uit te voeren. Toepassing van deze benadering dient echter in alle gevallen beperkt te blijven tot gebieden met een vrije afwatering.
- Regressie-analyse van gemeten grondwaterstanden kan indien zowel in de ijkingsperiode als in de toepassingsperiode voldoende gegevens beschikbaar zijn, een nauwkeurig beeld geven van de opgetreden verlaging ter plaatse van de peilbuis en het verloop hiervan in de tijd. Voor het vaststellen van het verlagingspatroon zijn een groot aantal peilbuizen nodig op verschillende afstanden en in verschillende richtingen vanaf de winplaats.
- Het verdient aanbeveling dat nader onderzoek wordt verricht naar de toepassingsmogelijkheden van andere, statistische methoden van grondwaterstands-analyse voor het vaststellen van reeds opgetreden verlagingen, zoals bijvoorbeeld het Kalmanfilter of het Box-Jenkins model.
- Vaststelling van opgetreden grondwaterstandsdalingen door middel van kartering van bodemkenmerken wordt uitsluitend toegepast in zandgebieden. Om tot een verantwoorde schatting van de opgetreden verlagingen te komen dient men bij toepassing van deze methode steeds de mogelijkheid te hebben de profielkenmerken te toetsen aan gemeten of berekende grondwaterstanden. Gezien de dynamiek van het ontstaan van de relevante profielkenmerken kunnen over het algemeen geen uitspraken worden gedaan over de datering van de kenmerken.
- Door middel van een proefpomp kan inzicht worden verkregen in de verlaging op een bepaald moment. Voor het vaststellen van een verlagingspatroon zijn een groot aantal peilbuizen zowel in als buiten het invloedsgebied noodzakelijk. De interpretatie van de gegevens kan worden bemoeilijkt door de relatief korte duur van de proefpomp, waardoor veelal geen stationaire stromingssituatie wordt bereikt.

- De mate van nauwkeurigheid waarmee de grondwaterstandsverlagingen door middel van grondwaterstandsraaien kunnen worden vastgesteld is sterk afhankelijk van de betrouwbaarheid waarmee de vroegere onbeïnvloede situatie kan worden gereconstrueerd. Teneinde de niet door de onttrekking veroorzaakte grondwaterstandsveranderingen te kunnen kwantificeren moet een voldoende aantal peilbuizen buiten het invloedsgebied in het onderzoek worden betrokken.

- Het is van groot belang de uitgangssituatie voor het begin van de wateronttrekking goed vast te leggen door het karteren van de hydromorfe kenmerken en door het waarnemen van peilbuizen gedurende een periode van minimaal 1 (bij voorkeur 3) jaar voor het begin van de onttrekking. De peilbuizen dienen bij voorkeur geplaatst te worden in een aantal raaien over het te verwachten invloedsgebied. Ook bij uitbreiding van de wateronttrekking dient de uitgangssituatie op dezelfde wijze te worden vastgelegd.

2. OPBRENGSTDEPRESSIES DOOR VOCHTTEKORT

2.1. INLEIDING

Evenals voor mens en dier is water voor planten een onmisbare factor. Het water dat door de plantewortels wordt opgenomen dient onder andere voor transport van de voedingsstoffen in de plant, voor koeling van het bladoppervlak en voor het proces van de fotosynthese. De fotosynthese wordt behalve door water beïnvloed door factoren als zonnestraling, temperatuur, voedingsstoffen, zuurstof en de aëratie van de bodem. Alleen wanneer al 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.

Onder het begrip "potentiële groei" wordt verstaan 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 aangemerkt als de potentiële produktie (Q_p). In feite is dit een theoretisch produktie-niveau.

Voor de berekening van de opbrengstdepressies als gevolg van grondwateronttrekking is echter niet de theoretisch potentiële produktie van belang, doch de potentiële opbrengst die onder praktijkomstandigheden gehaald kan worden. Naast bovengenoemde groeifactoren 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.

De "praktisch" potentiële produktie 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.

De voor een potentiële groei van een gewas benodigde hoeveelheid water (de vraag) wordt bepaald door de potentiële verdamping. De grootte hiervan is afhankelijk van de eigenschappen van het gewas en een aantal meteorologische factoren zoals straling, temperatuur, windsnelheid en relatieve luchtvochtigheid.

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 vochttekort wordt berekend uit het verschil tussen de potentiële verdamping en de werkelijk optredende verdamping. Voor de berekening hiervan zijn verschillende methoden en modellen ontwikkeld. Het principe en de belangrijkste uitgangspunten van een aantal berekeningsmethoden worden in 2.2. beschreven. De hiervoor benodigde basisgegevens worden in 2.3. in beschouwing genomen. In 2.4. worden een aantal methoden belicht om de grootte van deze opbrengstdepressies als gevolg van watertekorten te bepalen. In 2.5. worden een aantal conclusies getrokken en aanbevelingen gedaan voor nader onderzoek.

2.2. METHODEN TER BEPALING VAN HET VOCHTTEKORT

2.2.1. Empirische modellen

De meest elementaire vorm van een empirisch model is de schatting. Op grond van opgedane ervaring, ondervinding en/of waarnemingen wordt een uitspraak gedaan omtrent de grootte van het optredende vochttekort dan wel de opbrengstdepressie. Aangezien hieraan geen meetbare gegevens ten grondslag liggen draagt de schatting een sterk subjectief karakter, hetgeen overigens niet betekent dat door middel van schatting onder bepaalde omstandigheden geen betrouwbaar resultaat zou kunnen worden verkregen.

Door Grotentraast (1976) is voor grasland op zandgronden een methode voor de berekening van opbrengstdepressies ontworpen, gebaseerd op de vochtboekhouding van de wortelzone. Dit alleen voor profielen zonder capillaire aanvoer vanuit het grondwater. De berekende vochttekorten kunnen dientengevolge worden beschouwd als maximale vochttekorten. Bij de berekening van de verdampingsoverschotten is de potentiële verdamping gelijk gesteld aan 0,8 maal de open waterverdamping: $E_p = 0,8 E_o$. Voor de berekening is verder aangenomen dat de gehele vochtvoorraad gemakkelijk opneembaar is, dat wil zeggen dat pas vochttekorten optreden als de vochtvoorraad volledig is uitgeput.

Uitgaande van een door Rijtema (1971) gegeven relatie tussen de relatieve verdamping en de droge stofproductie van gras (zie ook fig. 2.14B) is voor een

aantal bodemtypen met een uiteenlopende hoeveelheid beschikbaar vocht in de wortelzone, de gemiddeld maximale opbrengstdepressie over een reeks van jaren vastgesteld. Vervolgens zijn voor deze bodemtypen op basis van een aangenomen waarde voor de capillaire stijghoogte en rekening houdend met fluctuaties in de grondwaterstand, de waarden van de GLG bepaald waarboven geen opbrengstdepressie optreedt en die waar beneden de depressie maximaal is. Tussen beide grenswaarden van de GLG werd op empirische basis een aantal curven geconstrueerd die voor de onderscheiden bodemtypen de gemiddelde opbrengstdepressies weergeven in afhankelijkheid van de GLG. Op basis hiervan werden per grondwatertrap (Gt) de gemiddelde opbrengstdepressies ten gevolge van vochttekort berekend, alsmede de toename hiervan bij een verlaging van de GLG.

Bij de methode van Grotentraast wordt overigens geen rekening gehouden met verschillen in capillaire eigenschappen van de ondergrond noch met de invloed van heterogeniteiten in het bodemprofiel.

2.2.2. Pseudo-stationaire modellen

Om de hoeveelheid water die in een bepaalde groeiperiode voor verdamping beschikbaar is, vast te kunnen stellen dient men de vocht karakteristiek, $h(\theta)$ relatie en het capillair geleidingsvermogen van de grond, $K(h)$ relatie, te kennen. Indien men dan:

- in het voorjaar uitgaat van een evenwichtsvochtsituatie;
- een toelaatbare uitdrogingsgrens van de wortelzone aanneemt; en
- een gemiddelde vochtspanning aan de onderzijde van de wortelzone verondersteld,

kan men voor iedere grondwaterstandsdiepte de hoeveelheden beschikbaar vocht aanwezig in de wortelzone, in de diepere lagen onder de wortelzone en via capillaire werking opstijgend uit het grondwater vaststellen. Deze methode is beschreven door Wesseling (1957), Rijtema (1965) en Feddes (1971).

Voor berekening van stationaire capillaire opstijging dient de vergelijking van Darcy te worden geïntegreerd. Om het verband tussen capillaire stijghoogte en vochtspanning voor iedere willekeurige stijgsnelheid uit te rekenen zijn diverse computerprogramma's beschikbaar voor zowel homogene als gelaagde bodemprofielen (Van Lanen, 1981 b; Rijniersce, 1981; Wesseling et al., 1984). Opgemerkt wordt dat deze programma's in principe ook geschikt zijn om voor constante infiltratiesnelheden het verloop van de vochtspanning met de diepte te berekenen. Via de

vochtkarakteristiek zijn deze vochtspanningsprofielen dan om te zetten in vochtgehalteprofielen. Door Bouma (1977) en Mooy (1981) zijn grafische methoden ontwikkeld om de capillaire vochtleverantie van gelaagde profielen te berekenen. In het geval van kleigronden met zwellende en krimpende eigenschappen, kan niet zonder meer van "Darcy"-stroming worden uitgegaan (Bouma, 1980).

Verschillen tussen opeenvolgende stationaire toestanden (pseudo-stationaire benadering) kunnen worden opgevat als een benadering van het in wezen niet-stationaire stromingsproces in de grond. De vochtinhoudsverandering die daarbij optreedt kan worden verkregen door vochtspanningsprofielen via de vochtkarakteristiek om te zetten in vochtgehalteprofielen en deze vervolgens over de betreffende diepte te integreren. De vochtinhoudsverandering is dan gelijk aan het verschil tussen de vochtinhouden van het profiel aan het begin en einde van de tijdstap. Rijtema (1971) heeft deze benadering toegepast om de verdamping tijdens een groeiseizoen te berekenen voor jaren met een verschillende overschrijdingskans van het verdampingsoverschot. Daarbij maakte hij onderscheid tussen een wortelzone, waarin al het vochttransport door de wortels geschiedt, en een homogene ondergrond, waarin de stijgsnelheid constant is met de diepte. De verdamping die dan optreedt over een zekere periode, wordt berekend uit de waterbalans van de wortelzone. Verder werd aangenomen dat de verdampingssnelheid potentieel is wanneer de vochtspanning in de wortelzone een bepaalde limiet (i.e. $pF = 4,2$.) nog niet heeft overschreden. Daarna treedt pas een reductie in verdamping op.

De Laat heeft voor dit model een computerprogramma geschreven, onder de naam UNSAT en het toegepast op werkelijke jaren waarin ook neerslagoverschotten voorkwamen. Tevens heeft hij de mogelijkheid voor het gebruik van een heterogene ondergrond aangebracht (De Laat en Awater, 1978; De Laat 1980). Dit programma is recentelijk herschreven en uitgebracht onder de naam MUST (Model for Unsaturated flow above a Shallow water-Table) (De Laat, 1982). De verdamping wordt in dit model ook niet meer potentieel verondersteld tot $pF 4,2$. maar tot een meer acceptabele "nattere" waarde die gewasafhankelijk is (zie tabel 3, blz 32).

Ten behoeve van onder andere de berekening van de landbouwschade bij grondwateronttrekking heeft Reuling (1983) het UNSAT-model van De Laat aangepast en uitgebreid voornamelijk wat betreft de in- en uitvoermogelijkheden. De door Reuling ontwikkelde modelversie draagt de naam LAMOS (Landinrichtingsdienst Model voor

Onverzadigde Strooming).

Het model LAMOS biedt de mogelijkheid om naast een onbeïnvloede grondwatersituatie, één of meerdere (max. 6) situaties met een gewijzigde (verlaagde dan wel verhoogde) grondwaterstand door te rekenen. De wijzigingen in grondwaterstand worden ingevoerd als een verandering in de gemiddelde voorjaars grondwaterstand (GVG) en een verandering in de GLG. Deze veranderingen worden per tijdstap gesuperponeerd op de voor de onbeïnvloede situatie berekende grondwaterstand. Hierna worden alle gewijzigde situaties doorgerekend met als randvoorwaarde aan de onderzijde van het systeem een gegeven grondwaterstand. De berekende vochttekorten per jaar in de onbeïnvloede situatie en in de verlaagde/verhoogde situatie(s), alsook de verschillen hiertussen worden in het model vertaald in gewasopbrengst-reducties.

In het model LAMOS kan de mogelijke aanwezigheid van een schijngrondwaterspiegel boven een slecht-doorlatende laag worden gesimuleerd. Onder de slecht-doorlatende laag bevindt zich dikwijls een onverzadigde zone. Zodra nu de schijngrondwaterspiegel verdwijnt, maakt de grondwaterstand als het ware een sprong naar beneden tot op het niveau van de grondwaterstand onder de slecht-doorlatende laag.

Ook is het thans mogelijk effecten van kunstmatige berekening op de waterbalans en speciaal op de verdamping na te gaan. Zodra een bepaalde pF-waarde in de wortelzone wordt bereikt of overschreden wordt een beregeningsgift toegediend. Zowel de pF-waarde als de grootte van de toe te dienen beregeningsgift dienen in het model te worden ingevoerd.

De belangrijkste in- en uitvoer van het model LAMOS staat schematisch weergegeven in tabel 2.

Bij het model MUST en het model LAMOS kunnen een aantal kanttekeningen worden geplaatst:

- het model is ontworpen voor niet te diepe grondwaterstanden, waarbij het nog niet duidelijk is voor welke condities het model nog wel dan niet bruikbaar is;
- bij een "diepe" grondwaterstand is meestal geen directe relatie te leggen met de verdamping, hoewel het model, via de capillaire opstijging, dat wel veronderstelt;
- in het model wordt een constante dikte van de wortelzone gebruikt over het gehele groeiseizoen. Hierdoor zullen voor akkerbouw- en tuinbouwgewassen in het begin van de groeiperiode praktisch geen vochttekorten worden berekend,

Tabel 2. Overzicht van de belangrijkste in- en uitvoergegevens van het model LAMOS.

<u>INVOER</u>	
- Weersgegevens (invoer per tijdstap)	: Verdampingsoverschot of open water verdamping, neerslag en gewasfactor (f) of luchttemperatuur, rel. luchtvochtigheid, netto straling en neerslag
- Randvoorwaarde onderzijde systeem	: Basisafvoer (varierend per tijdstap dan wel constant) of grondwaterstand (variabel dan wel een benaderend verloop op basis van opgegeven waarden voor de GHG en GLG) of grondwaterstand-afvoer relatie (lineair dan wel exponentieel)
- Bodemfysische gegevens:	Vochtkarakteristiek van de effectieve wortelzone (max. 10 verschillende bodemlagen) Vochtkarakteristiek en capillair geleidingsvermogen van de ondergrond per onderscheiden bodemlaag Hysterisfactor
- Geometrie bodemsysteem:	Diepte van de onderscheiden bodemlagen in de eff. wortelzone en de ondergrond Aanduiding slecht-doorlatende laag (facultatief)
- Beginvoorwaarde	: Begin-grondwaterstand en initiële basisafvoer
- Gewasgegevens	: Bodemgebruik (maximaal 8 onderscheidingen) Opneembaarheid bodemvocht (volledig gemakkelijk opneembaar dan wel lineair afnemend met de pF-waarde of de drukhoogte) Gemiddelde bruto potentiële opbrengst per periode (gras)
- Berekening (facultatief)	: pF-waarde waarboven berekend wordt en grootte van de toe te dienen beregeningsgift
- Karakterisering van het grondwaterstands- verloop	: GHG, GVG en GLG in de uitgangssituatie(s) en in de verlaagde of verhoogde situatie(s)
- Wateroverlast	: Opbrengstdepressie door wateroverlast per jaar in de uitgangssituatie(s) en in de verlaagde of verhoogde situatie(s) in % van de potentiële opbrengst
<u>UITVOER</u>	
- Bij de vochttekort- berekening worden nevenstaande gegevens zowel per tijdstap als cumulatief per jaar uitgevoerd	: . potentieel en actueel verdampingsoverschot . verzadigingstekort in de eff. wortelzone en in de gehele onverzadigde zone . grondwaterstand . flux door de onderkant v.d. wortelzone en door de grondwaterspiegel . pF-waarde aan de onderkant v.d. eff. wortelzone . vochttekort . beregeningsgift
- Bij de berekening van de opbrengstverandering worden nevenstaande gegevens per jaaren als gemiddelde over de gehele rekenperiode (meestal 30 jaar) uitgevoerd.	: . potentiële verdamping en neerslag over de rekenperiode . vochttekort in de uitgangssituatie(s) en de verlaagde of verhoogde situatie(s) in mm en in % van de potentiële verdamping. . gemiddelde bruto potentiële opbrengst (gras) . actuele bruto en netto potentiële opbrengst (gras) . opbrengstderving per mm vochttekort (gras) . opbrengstdepressie door vochttekort en door wateroverlast in de uitgangssituatie(s) en in de verlaagde of verhoogde situatie(s) in % v.d. potentiële opr. . verschil in opbrengstdepr. door vochttekort en door wateroverlast in de uitgangssituatie(s) en de verlaagde of verhoogde situatie(s) in % v.d. potentiële opr. . totaal netto opbrengst verandering in % van de potentiële opbrengst

terwijl in de praktijk wel vochttekorten op kunnen treden. Analyses van Van Bakel (1978) hebben uitgewezen dat de modelresultaten sterk afhankelijk zijn van de dikte van de effectieve wortelzone;

- bij invoer van verdampingsoverschotten wordt impliciet aangenomen dat de gevallen neerslag direct voor verdamping beschikbaar is;
- bij wateroverlast, dat wil zeggen grondwaterstand tot in de wortelzone, zal het model geen reductie in verdamping berekenen;
- de rekenkosten met het model worden vooral bepaald door het aantal bodemlagen in de ondergrond en de diepten waarop deze voorkomen. Als van een profiel eenmaal de standaard-capillaire stijgsnelheden en verzadigingstekort-curven berekend zijn en beschikbaar op file, vergt het doorrekenen van verschillende jaren relatief weinig rekentijd.

Door Rijkswaterstaat is in het kader van de PAWN (Policy Analysis Watermanagement Netherlands) studie het model DEMGEN ontwikkeld. Dit model is in principe analoog aan het UNSAT model van De Laat.

2.2.3. Niet-stationaire modellen

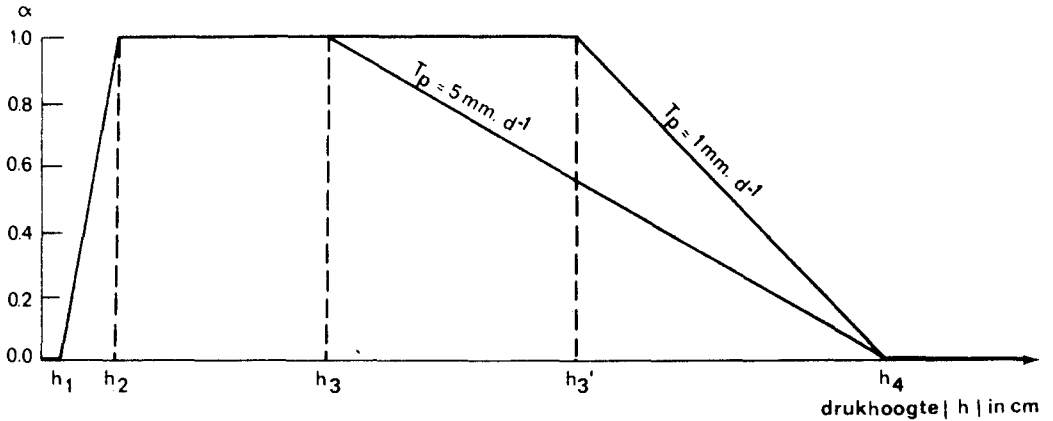
Waterstroming in de onverzadigde zone is in het algemeen niet stationair. De zuigspanning, het vochtgehalte en de stroomsnelheid zijn niet alleen afhankelijk van de plaats, maar ook van de tijd. De verandering van het vochtgehalte met de tijd, welke gelijk is aan de verandering van de stroomsnelheid (flux) met de diepte (continuïteitsvergelijking), kan worden berekend met behulp van modellen voor niet-stationaire onverzadigde stroming.

De opname van water door plantenwortels wordt dikwijls in rekening gebracht door aan de continuïteitsvergelijking een sink-term toe te voegen.

Deze sink-term kan op verschillende min of meer ingewikkelde manieren worden geformuleerd. Voor een uitgebreid overzicht van bestaande numerieke stromingsmodellen met wateropname door wortels wordt verwezen naar Feddes (1981).

Door Feddes et al. (1978) is het model SWATR ontwikkeld dat de werkelijke verdamping van een gewas berekent voor een 2-lagen profiel in de aanwezigheid van een opgegeven grondwaterstand. Hierbij is een praktisch bruikbare sink-term geïntroduceerd (Fig. 2.1.), waarvoor slechts weinig invoergegevens nodig zijn. In het sink-term model wordt de wateropname door de wortels bij een drukhoogte

Figuur 2.1. Het verloop van de dimensieloze sink-term-variabele α als functie van de absolute waarde van de drukhoogte van het bodemvocht, $|h|$. (Naar Feddes et al., 1978).



boven h_1 , (punt waar beneden door zuurstofgebrek geen wateropname plaatsvindt) en beneden h_4 (verwelkingspunt) op nul gesteld. 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 een lineair verloop aangenomen. De waarde van h_3 wordt verder afhankelijk gesteld van de verdampingsvraag van de atmosfeer, en varieert dus met de potentiële transpiratiesnelheid, T_p .

In tabel 3 is voor een aantal gewassen een globale indicatie gegeven voor de waarde van h_3 . Behalve van de potentiële transpiratiesnelheid hangt de waarde van h_3 ook af van het groeistadium van het gewas. In het vegetatieve stadium

Tabel 3. Indicatie voor de absolute waarde van de drukhoogte van het bodemvocht, waarboven de opnamesnelheid van de wortels in de vegetatieve fase van het gewas wordt gereduceerd, bij een potentiële transpiratiesnelheid van 5 mm d^{-1} , $|h_3|$, resp. 1 mm d^{-1} , $|h_3'|$.

	$|h_3|$ (cm)	(pF)	$|h_3'|$ (cm)	(pF)
Gras	200	2,3	800	2,9
Aardappelen	300	2,5	600	2,8
Granen	450	2,6	900	3,0
Bieten	400	2,6	1000	3,0
Maïs	600	2,8	1000	3,0

(celstrekking) verlangt de plant voor een optimale groei veelal een lage pF-waarde bovenin de wortelzone. In het generatieve stadium is de plant hiervoor minder gevoelig.

De uiteindelijke invloed van de reductie op de werkelijke transpiratie is sterk afhankelijk van de vochtkarakteristiek van de betreffende grond en de hoeveelheid en verdeling van de neerslag.

Behalve de drukhoogte is ook de temperatuur en de hoeveelheid wortels van invloed op de opnamesnelheid van het bodemvocht. Naarmate de temperatuur lager en de hoeveelheid wortels geringer is, daalt de opnamesnelheid. De maximale opnamesnelheid, S_{\max} , zou dus ook als bijvoorbeeld een lineaire functie van de diepte in het profiel kunnen worden gezien, zoals voorgesteld door Hoogland et al. (1981). Over het verloop van S_{\max} met de diepte zijn echter weinig gegevens bekend. Op het ogenblik is nog onduidelijk welke benadering van S_{\max} de voorkeur verdient.

Door Belmans et al. (1983) is het model SWATR uitgebreid met een aantal opties voor de randvoorwaarde aan de onderzijde van het systeem; ook is gebruik gemaakt van een ander numeriek schema, het profiel kan maximaal uit vijf verschillende bodemlagen bestaan en er is een mogelijkheid voor het gebruik van een alternatieve sink-term (Hoogland et al., 1981) in het programma opgenomen. Tevens is een optie voor een lineair verloop van de opnamesnelheid met de logaritme van de drukhoogte voor het traject h_3-h_4 (zie fig. 2.1) opgenomen. Het model staat nu bekend onder de naam SWATRE(-xtended).

Door Feddes en Wesseling (1984) is het model SWATRE gekoppeld met het gewasproductiemodel CROPR. Hierbij wordt het verloop van een gewasontwikkeling met de tijd niet meer als vast gegeven ingevoerd, maar afhankelijk van de externe omstandigheden zelf door het model gegenereerd. Voor aardappelen en zomergranen zijn versies van dit model (SWACRO) op het ogenblik operationeel.

Het SWATRE-model maakt gebruik van invoergegevens die betrekking hebben op 24 uren-perioden. Als randvoorwaarde aan de bovenzijde van het systeem heeft men gegevens nodig betreffende de neerslag, de potentiële bodemevaporatie en de potentiële transpiratie. De laatste twee kunnen direct als input opgegeven worden (indien bekend) of berekend worden uit een verdampingsvergelijking (hiervoor zijn 3 verschillende verdampingsconcepten ingebouwd).

Het bodemsysteem wordt opgedeeld in een aantal gelijke compartimenten. Het profiel kan opgesplitst worden in verschillende bodemlagen. De worteldiepte wordt opgegeven als een functie van de tijd.

Voor de randvoorwaarde aan de onderkant van het bodemsysteem kan een drukhoogte of flux worden gebruikt. Indien het bodemprofiel geheel onverzadigd blijft, kunnen de volgende varianten worden gebruikt: drukhoogte van het onderste compartiment, flux-nul door de onderrand, of vrije drainage (hydraulische gradiënt is gelijk aan 1). Indien het bodemsysteem gedeeltelijk verzadigd is, kan de grondwaterstand als invoer worden opgegeven. De grondwaterstand kan echter ook berekend worden wanneer de flux van of naar de verzadigde zone bekend is. De flux kan als dagelijks input (24 uur) worden opgegeven of met behulp van de relatie tussen flux en grondwaterstand worden berekend voor iedere tijdstap. In het programma zijn hiervoor 2 varianten opgenomen, namelijk door middel van een flux-grondwaterstandsrelatie die bekend moet zijn of door middel van een combinatie van fluxen van/naar sloten (infiltratie/drainage) en van/naar diepe watervoerende lagen (kwel/wegzijging).

In tabel 4 wordt een overzicht gegeven van de belangrijkste in- en uitvoer van het model SWATRE.

De volgende kanttekeningen kunnen bij het model SWATRE worden gemaakt:

- in het model zit geen hysteresis (zie blz. 40), zodat in principe voor hysteresis gevoelige gronden de vochtsituatie niet goed gesimuleerd wordt. Dit is bijvoorbeeld het geval bij sterke neerslag na een lange periode van uitdroging;
- de waterbalans wordt nauwkeurig gesimuleerd;
- de rekentijden met dit niet-stationaire model bedragen voor een gemiddeld groeiseizoen, waarbij de grondwaterstand wordt berekend zo'n 15 CPU seconden op een DEC-computer. De rekentijd wordt sterk gereduceerd wanneer de grondwaterstand als invoergegeven wordt gebruikt. Bij groeiseizoenen waarin sterke wisselingen van droog naar nat en vice versa optreden loopt de rekentijd op;
- daar de invoer per dag moet worden opgegeven zijn in vergelijking met bijvoorbeeld de modellen MUST en LAMOS meer invoergegevens nodig.

Tabel 4. Overzicht van de belangrijkste in- en uitvoergegevens van het model SWATRE.

<u>INVOER</u>	
<u>INVOERGEGEVENS PER DAG</u>	
- Weersgegevens	: Luchttemperatuur, relatieve luchtvochtigheid, windsnelheid, kortgolvlige straling (of netto straling), neerslag. N.B. De weersgegevens (behalve de neerslag) dienen om de potentiële bodemverdamping- en transpiratie uit te rekenen. Indien uitgegaan wordt van de open water verdamping (E_o) en bekende gewasfactoren (f) kan de bodemverdamping en transpiratie op basis hiervan worden berekend, en zijn bovengenoemde weersgegevens niet nodig.
- Gewasgegevens	: Gewashoogte, bodembedekking (of leaf area index), diepte wortelzone, sink-term, (kritieke waarden, h_1 t/m h_4 in fig. 2.1.)
- Randvoorwaarde onderzijde systeem	: . Flux vanuit de verzadigde zone (berekend als som van de infiltratie vanuit sloten en de diepe wegzijging of berekend uit de flux-grondwaterstandrelatie), of . drukhoogte (bij drukhoogte nul is dit diepte grondwaterstand)
<u>EENMALIGE INVOERGEGEVENS</u>	
- Beginvoorwaarde	: drukhoogte als functie van de diepte
- Bodemfysische gegevens:	vocht karakteristiek en capillair geleidingsvermogen (maximaal 5 verschillende bodemlagen)
- Geometrie bodemsysteem:	het profiel wordt opgedeeld in gelijke compartimenten, (maximaal 40)
<u>UITVOER</u>	
- Nevenstaande termen van de waterbalans worden zowel per dag als cumulatief uitgevoerd	: . neerslag, interceptie . infiltratie (potentieel en werkelijk) . transpiratie (potentieel en werkelijk), bodemevaporatie (idem) . flux door de onderkant van het systeem . flux door de onderkant van de wortelzone . veranderingen in bodemvocht over het gehele bodemprofiel
N.B. Op gezette tijdstippen worden print-plots gemaakt van vochtgehalten, drukhoogten, fluxen en dergelijke over het gehele profiel.	

2.2.4. Gekoppelde modellen voor het onverzadigde-verzadigde systeem

Er zijn slechts weinig modellen die het onverzadigde-verzadigde systeem als één geïntegreerde zone behandelen. Een voorbeeld van een dergelijk model is het 2-dimensionale eindige elementen model UNSAT 2 van Neuman et al. (1975)¹. Numerieke oplossingen van een dergelijk model kunnen iteratief of niet-iteratief (Hornung and Messing, 1981) worden gedaan. Wat voor methode echter ook gebruikt wordt, een geïntegreerde benadering van de onverzadigde-verzadigde zone vereist veel meer computertijd dan wanneer beide zones onafhankelijk worden behandeld. Voor een uitgebreid overzicht van oplossingen voor verzadigde-onverzadigde systemen zie De Laat (1980).

Een andere benadering is dat het onverzadigde-verzadigde systeem opgebouwd gedacht wordt uit twee afzonderlijke systemen: een verzadigd stromingssysteem dat gemodelleerd kan worden door middel van standaard twee-dimensionale regionale technieken en een daarboven liggend apart onverzadigd systeem waarin de stroming vertikaal is. De koppeling tussen beide systemen vindt plaats door middel van de randvoorwaarde aan de onderkant van de onverzadigde zone. Voorbeelden van een dergelijke benadering zijn het recent ontwikkelde model PREDIS (Gilding, 1983; Crebas en Wesseling, 1983) en het al eerder in het kader van de Commissie Waterhuishouding Gelderland ontwikkelde model dat bekend staat onder de naam GELGAM (Awater en De Laat, 1980). Het pseudo-stationaire model UNSAT (De Laat, 1980) is daarbij gekoppeld aan het niet stationaire regionale model voor verzadigde stroming van Kovar (1981).

Met het model GELGAM kunnen de volgende hydrologische grootheden als functie van plaats en tijd worden beschreven:

- potentiële en werkelijke verdamping;
- verzadigingstekort in de onverzadigde zone;
- grondwaterstand;
- stijghoogte in watervoerende pakketten;
- aan/afvoer van grondwater over de rand van het modelgebied;
- infiltratie/afvoer van/naar oppervlaktewater.

1. De benaming van sommige modellen is weleens wat ongelukkig gekozen: zo hebben de modellen UNSAT (De Laat, 1980) en UNSAT 2 (Van Lanen, 1981 b) noch met elkaar, noch met het model UNSAT 2 van Neuman et al. (1975) iets van doen.

Het model kan de invloed van ingrepen in de waterhuishouding evalueren, waarbij te denken valt aan:

- onttrekking van grondwater aan een watervoerend pakket;
- peilbeheersing in beek-/poldergebieden;
- verbetering van ontwateringsmiddelen;
- werken ten behoeve van kunstmatige grondwateraanvulling.

Beperkingen van het model zijn:

- de minimale tijdstap van het model bedraagt 1 dag. Snelle afvoerprocessen kunnen daardoor niet worden gesimuleerd;
- oppervlakte- en schijnspiegelafvoer zijn niet in het model opgenomen;
- peilen in open waterlopen dienen als randvoorwaarden; veranderingen in deze peilen ten gevolge van ingrepen kunnen, behalve met modelaanpassingen (Van Lanen, 1981 c), niet worden gesimuleerd;
- het geo-hydrologisch systeem moet tot twee watervoerende pakketten worden geschematiseerd;
- de berekening van de potentiële evapotranspiratie van gewassen die nog een onvolledige bodembedekking hebben, blijkt niet een constante waarde te vertonen in een bepaald jaar, maar afhankelijk te zijn van de grootte van de vochtspanning aan de onderkant van de wortelzone, ofwel in feite van de hydrologische condities beneden de wortelzone. Dit probleem ontstaat doordat in het model de potentiële en werkelijke verdamping in een iteratieve procedure worden bepaald (Van Lanen, 1981 d).

Teneinde effecten van berekening uit het grondwater voor landbouw en natuurbeheer te kunnen vaststellen is in het kader van de activiteiten van de studiegroep Sleen het model GELGAM aangepast (Van Lanen, 1983 a).

2.3. BASISGEGEVENS VOOR DE BEREKENING VAN HET VOCHTTEKORT

2.3.1. Vochtkarakteristiek

De vochtkarakteristiek van een grond heeft in de eerste plaats slechts waarde voor de bemonsterde plek en de onmiddellijke omgeving. Door een statistische bewerking van de in de loop der jaren door diverse instanties verzamelde en door Stiboka gearchiveerde pF-gegevens van Nederlandse gronden, is getracht de aanwe-

zige pF-gegevens een bredere toepasbaarheid te geven. 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). De bewerking is gebaseerd op een multiple regressiemodel. Hierin wordt bij de onderscheiden vochtspanningen aan elk van een aantal ingevoerde factoren een bijdrage aan de hoeveelheid vocht toegekend. Bij de zand- en veenkoloniale gronden zijn dat het organische stofgehalte, het leemgehalte, de zandgrofheid (mediaan) en de dichtheid van de grond; bij de zee- en rivierkleigronden het organische stofgehalte, het lutumgehalte en de dichtheid van de grond.

De grootte van de bijdrage van bovengenoemde factoren is in de regressievergelijkingen weergegeven. Bij de zand- en veenkoloniale gronden zijn de verschillende bodemeenheden samengevoegd in een IX-tal groepen die elk min of meer een landschappelijke eenheid vormen (Tabel 5). Groep X heeft betrekking op afwijkende ondergronden zoals keileem e.d.

Tabel 5. Indeling van de bodemeenheden op zand- en veenkoloniale gronden in een 10-tal groepen ten behoeve van de bepaling van de vocht karakteristiek.

Groep	Samengevoegde bodemeenheden
I	veengronden en veengronden met een veenkoloniaal dek
II	holtpodzol-, looppodzol-, bruine enkeerd- en vorstvaaggronden
III	lage veldpodzol-, laarpodzol- en gooreerdgronden (Gt II t/m V)
IV	veldpodzol-, gooreerd- en beekeerdgronden in zeer sterk lemig zand en zandige leem met overwegend Gt II t/m V
V	hoge veldpodzol-, laarpodzol- en zwarte enkeerdgronden (Gt VI en VII)
VI	haarpodzolgronden
VII	beekeerd- en lage zwarte enkeerdgronden
VIII	kalkhoudende vlakvaaggronden (geestgronden)
IX	duinvaaggronden
X	afwijkende ondergronden

Voor alle horizonten van een bodemeenheid uit één van de in tabel 5 genoemde groepen is een set formules aanwezig. Met behulp van gemeten of geschatte waarden voor de eerder genoemde factoren kan de vocht karakteristiek worden berekend. Bij het ontbreken van waarden voor de factoren kan gebruik gemaakt worden van zgn. "standaard-vocht karakteristieken". Deze zijn gebaseerd op gemiddelde waar-

den voor de factoren en berekend voor de meest voorkomende textuur combinaties van de horizonten van de samengevoegde bodemeenheden. Bij de kleigronden is onderscheid gemaakt naar boven- en ondergronden. Daarnaast is voor de zeekleigronden een regionale indeling ingevoerd.

In de praktijk van de kartering van waterwinplaatsen in het pleistocene zandgebied wordt voor de vaststelling van de hoeveelheid beschikbaar vocht gebruik gemaakt van een zeer beperkte reeks van vocht karakteristieken. Daartoe is in een diagram de relatie weergegeven tussen enerzijds de combinatie van organische stof- en leemgehalte en anderzijds de hoeveelheid beschikbaar vocht tussen bepaalde drukhoogtes. Hierbij is onderscheid gemaakt naar de ligging ten opzichte van het grondwater: voor hoge en middelhoge gronden (Gt VI en droger) is de beschikbare hoeveelheid vocht gedefinieerd als het verschil in vochtgehalte tussen de drukhoogten - 100 cm en - 1000 cm ($pF = 2,0$ resp. $pF = 3,0$), voor de lage en zeer lage gronden (Gt V en natter) als het verschil in vochtgehalte tussen de drukhoogten - 50 cm en - 1000 cm ($pF = 1,7$ resp. $pF = 3,0$).

Tijdens de kartering wordt met behulp van het geschatte organische stof- en leemgehalte via de relaties in het diagram aan de wortelzone een gemiddelde vocht karakteristiek toegekend. Uit de dikte van de wortelzone en de specifieke hoeveelheid beschikbaar vocht wordt de vochtinhoud van de totale wortelzone vastgesteld. Boringen met gelijke of nagenoeg gelijke vochtinhoud worden samen gebracht in één kaartvlak. Tijdens de opname wordt aldus elk onderscheiden kaartvlak (schadevlak) getypeerd door één dikte van de wortelzone en één daarbij behorende gemiddelde vocht karakteristiek.

Voor het geval er geen kartering wordt uitgevoerd doch gebruik gemaakt wordt van reeds bestaande bodemkaarten (bv. schaal 1:50.000) vormen de representatieve profielbeschrijvingen het uitgangspunt. De vocht karakteristieken van de betreffende bodemeenheden worden dan ontleend aan de eerdergenoemde series "standaardvocht karakteristieken". De dikte van de wortelzone wordt uniform vastgesteld, d.w.z. gelijk gesteld voor alle kaartvlakken van eenzelfde bodemeenheid. Het voorbijgaan aan belangrijke onderlinge dikteverschillen maakt dat deze benadering minder nauwkeurig is dan die welke bij de kartering wordt toegepast.

Uit metingen blijkt dat bij herbevochtiging van een uitgedroogde grond het vochtgehalte bij eenzelfde zuigspanning veelal lager is dan bij een uitdrogende grond. In de modellen LAMOS en MUST kan met dit zogenaamde hysteresis effect rekening worden gehouden door invoering van een hysteresis factor. Bij drukhoogten overeenkomend met pF waarden tussen 1,5 en 4,2 gaat het model in geval van herbevochtiging uit van vochtgehalten behorend bij verhoogde pF waarden. De mate van verhoging is maximaal gelijk aan de opgegeven hysteresis factor. De waarde van deze factor kan variëren tussen 0 en 2. In het algemeen wordt hiervoor een waarde 0,0 of 0,5 ingevoerd.

Noot. Hoewel de resultaten van in situ metingen van de vocht karakteristiek m.b.v. tensiometers nog weinig worden toegepast, moet opgemerkt worden dat deze vooral voor bovengronden niet onaanzienlijk kunnen afwijken van de resultaten welke volgens de gangbare desorptiecurven worden verkregen (Silva 1977; Beuving, 1982; Wösten, 1983).

2.3.2. Capillair geleidingsvermogen

Het transport van water door de grond is afhankelijk van het capillair geleidingsvermogen van de grond. In het geval dat de stroming verzadigd is, is het totale poriënvolume beschikbaar voor het transport. Bij onverzadigde stroming is echter een gedeelte van de poriën gevuld met lucht, welk gedeelte dan niet deelneemt aan het watertransport. Met afnemend vochtgehalte (afnemende drukhoogte) zal dus het beschikbare stromingsoppervlak afnemen en zo ook het capillair geleidingsvermogen, dus:

$$K = f(\theta) \quad \text{of} \quad K = f(h) \quad (1) \quad (2)$$

Rijtema (1969 b) heeft op basis van laboratoriumgegevens van veelal geroerde monsters en op grond van velddata zowel uit binnen als buitenland voor 20 gronden de $K(h)$ relaties gegeven. Deze reeks gronden is door De Laat (Awater en De Laat, 1978) met enkele $K(h)$ relaties uitgebreid, waardoor een betere typering van de fijnzandige, zwak tot sterk lemige dekzand ondergronden werd verkregen. Bij berekening van vochttekorten wordt dikwijls van deze "standaard"gronden uitgegaan. Ondanks het feit dat bij de opstelling van deze reeks van "standaard"-gronden vraagtekens kunnen worden gezet, heeft in de loop van de jaren zodanige toetsing aan praktijkinzichten en meetgegevens plaatsgevonden dat min of meer acceptabele berekeningsresultaten worden verkregen.

Bloemen (1980 a; 1982) ontwikkelde methoden om voor minerale bodemlagen de $K(h)$ relatie te berekenen uit de textuur en het humusgehalte, en voor organische bodemlagen uit de droge dichtheid en het volume-aandeel van de vaste bodembestanddelen. Voor zware gronden staat de methode Bloemen nog ter discussie.

Het voordeel van de methode Bloemen is dat voor iedere afzonderlijke bodemlaag een passende $K(h)$ relatie kan worden verschaft op basis van eenvoudige en snel te verkrijgen gegevens. De vaak moeilijke vraag, tot welke groep in een reeks "standaard"gronden de betreffende bodemlaag moet worden gerekend, vervalt daardoor.

Een ander voordeel is dat voor eenheden van de door de Stichting voor Bodemkartering gebruikte indelingen de gemiddelde textuureigenschappen en humusgehalten kunnen worden vastgesteld. Hieruit kunnen dan de $K(h)$ relaties voor deze eenheden worden berekend. Voor een bodemfysische interpretatie van bodemkaarten is dit van groot belang. Ook uit de in de "Toelichtingen op de Geologische kaarten" vaak verschaft textuurgegevens kunnen de $K(h)$ relaties van de diepere (> 120 cm) ondergronden worden berekend. Voor modelberekeningen uitgaande van diepere (> 120 cm) grondwaterstanden is dit feitelijk onmisbaar.

Recentelijk hebben nieuwe technieken om $K(h)$ relaties aan ongestoorde monsters te meten, ingang gevonden. De hiertoe gebruikte methoden zijn beschreven door Bouma en Dekker (1983), Wösten et al. (1983) en Verlinden en Bouma (1983). 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 beperkt aantal representatieve bodemhorizonten waaruit in voorkomende gevallen kan worden geput. Bij gebrek aan gegevens op dit moment, moet nog gebruik worden gemaakt van de door Rijtema (1969b) en Awater en De Laat (1978) gegeven "standaard"ondergronden, dan wel van berekeningen volgens Bloemen (1980a; 1982). Voor kleigronden is de laatstgenoemde methode nog in onderzoek. Uitspraken over welke $K(h)$ relaties de werkelijkheid het best beschrijven kunnen slechts door middel van simulatie berekeningen met bijbehorende toetsing aan de hand van veldgegevens worden verkregen. Hierbij dienen de bodemfysische karakteristieken als invoergegevens voor een simulatiemodel terwijl de uitvoer bestaat uit een berekend vochtgehalte en/of actuele verdamping die met gemeten waarden wordt vergeleken. Deze toetsing is nog te weinig toegepast.

In de praktijk is de ondergrond zelden homogeen. Met name in zandgronden treedt veelal een micro-gelaagdheid op waardoor in de ondergrond talrijke laagjes met een afwijkende granulaire samenstelling 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 bestaat de indruk dat deze microgelaagdheid een relatief grote invloed heeft op de capillaire vochtleverantie aan het gewas. Dit geldt eveneens voor profielen welke gevoelig zijn voor scheurvorming. Het effect van horizontale scheuren (in kleigronden) op de $K(h)$ relatie is geëvalueerd door Bouma en De Laat (1981).

Bij macro gelaagde ondergronden wordt elke laag met vermelding van positie apart getypeerd volgens textuur en dichtheid.

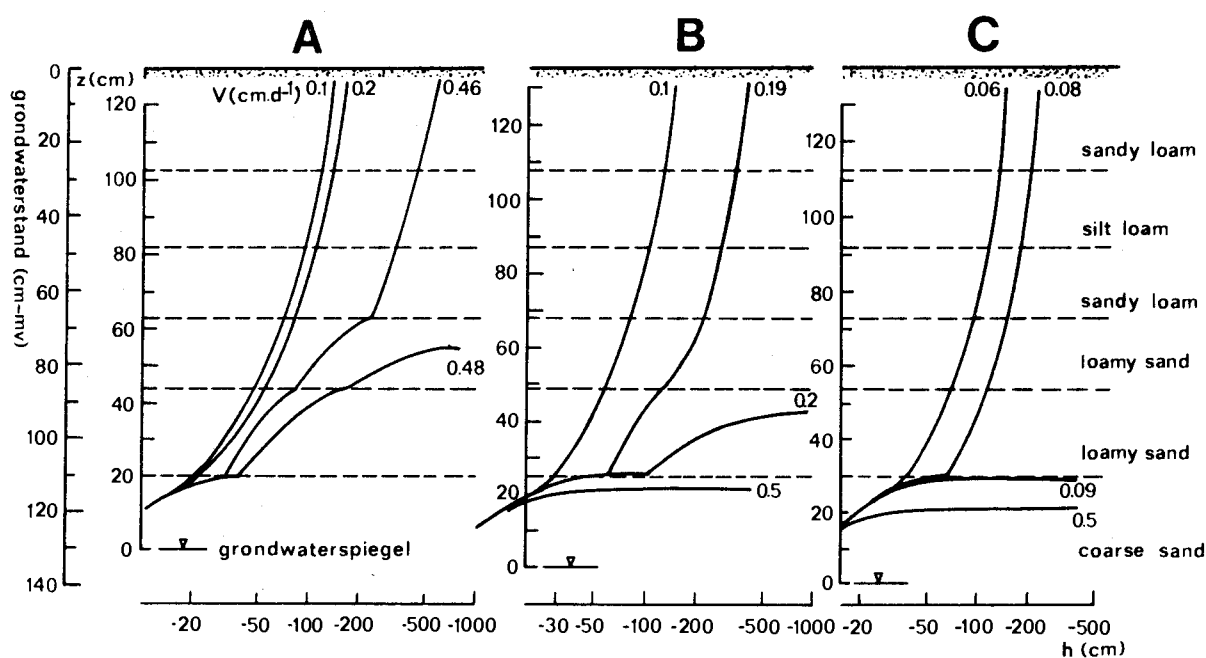
Belangrijk is de sterk variabele samenstelling van de ondergrond bij tal van profielen. Zowel in positie als in dikte variabele lemiger lagen en leemlagen worden aangetroffen in een "normale" zandondergrond. Vaak verschilt in dergelijke gebieden de ondergrond per boring. Aan een zekere schematisering valt in de praktijk dan ook niet te ontkomen. Omdat blijkens de uitkomsten van een beperkte gevoeligheidsanalyse (Van Bakel, 1978) het capillaire geleidingsvermogen van de ondergrond binnen zekere grenzen een minder gevoelige parameter is dan de dikte van de wortelzone en/of de grondwaterfluctuatie, wordt in de praktijk bij de kartering de begrenzing van de kaartvlakken in de eerste plaats bepaald door beide laatstgenoemde parameters en daarna pas - zonodig - verder onderverdeeld naar het type ondergrond. Aan de hand van de in het vlak verrichte boringen wordt getracht tot één typering voor de ondergrond te komen. Grote verschillen in profielopbouw geven aanleiding tot verdergaande opdeling. Het resultaat is als een gemiddelde van de in het kaartvlak gelegen boringen te beschouwen.

De ondergronden per kaartvlak worden vervolgens verder geschematiseerd op basis van zekere overeenkomsten in dikte en diepteligging van de onderscheiden bodemlagen. Aan de hand van een bepaalde indeling wordt aan elk kaartvlak een geschematiseerd ondergrond type toegewezen. Deze werkwijze brengt een aanzienlijke reductie van het aantal ondergrondtypen teweeg, hetgeen uit een oogpunt van rekenkosten zeer vereist is.

Teneinde gelaagde profielen op een verantwoorde wijze te kunnen schematiseren en het aantal te onderscheiden ondergronden tot een minimum te beperken is het noodzakelijk inzicht te verkrijgen in het effect van de gelaagdheid van de on-

dergrond op de capillaire vochtleverantie. Bloemen (1980 b) demonstreerde hoe sterk in een niet homogeen bodemprofiel de stijghoogte van een capillaire flux afhankelijk kan zijn van de grondwaterstandsdiepte (Fig. 2.2). Een daling van de grondwaterstand van 130 naar 140 cm onder het maaiveld in de grofzandige ondergrond van een sterk lemig dekzand profiel reduceert de capillaire flux die de bovengrond bereikt van $\pm 4,7 \text{ mm.d.}^{-1}$ tot $\pm 0,8 \text{ mm.d.}^{-1}$.

Figuur 2.2 Het verloop van de drukhoogte (h) bij verschillende capillaire fluxen (v) in een meer-lagen profiel voor grondwaterstandsdiepten van 130 (A), 135 (B) en 140 (C) cm beneden het maaiveld (naar Bloemen, 1980 b).



Bloemen (1982) laat zien dat vaste veen of gliede lagen een ongunstiger invloed op de capillaire eigenschappen van veenkoloniale gronden hebben naarmate ze hoger boven het grondwater liggen.

Mooy (1981) onderzocht het effect van een afwijkende bodemlaag in een overigens homogene zandondergrond. Hierbij is onderscheid gemaakt naar de aard van de afwijkende laag (leem of grof zand) en de dikte hiervan.

Uit het onderzoek blijkt dat grofzandige lagen vooral storend werken indien deze relatief hoog in het profiel voorkomen, dus vlak onder de wortelzone. De dikte van de afwijkende laag is van weinig belang. 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 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.

Van Lanen (1981 b) heeft de gevoeligheid van een gelaagd bodemprofiel voor grondwaterstandsverlagingen nagegaan met behulp van het zgn. rekenprogramma UNSAT 2.

2.3.3. Wortelzone

Voor de vochtvoorziening van het gewas is met name de hoeveelheid vocht die in de wortelzone kan worden geborgen van belang. Deze hoeveelheid wordt bepaald door de dikte van de wortelzone en de vocht karakteristiek (pF-curve). Daarnaast is ook van belang of het aanwezige vocht gemakkelijk of moeilijk opneembaar is.

De dikte van de wortelzone hangt nauw samen met de bewortelingsdiepte. De voornaamste beperkende factoren voor de bewortelingsdiepte zijn de zuurgraad (pH), de aëratie en 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 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. De kritische grens voor beworteling ligt bij een indringingsweerstand van 2,5 à 3,0 MPa. Indien een stelsel van voldoende grote verticale poriën aanwezig is, verschuift de kritische grens naar hogere waarden; voor veel zandgronden ligt deze tussen 3 en 5 Mpa.

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 echter 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 80 à 90% van de wortels voorkomen.

Door Houben (1979) zijn de relaties tussen de eigenschappen van de grond en de wortelgroei uitvoerig beschreven. Tevens is voor verschillende gronden de bewortelingsdiepte en de zogenaamde "werkzame" worteldiepte aangegeven.

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 6 is voor een aantal gewassen voor verschillende representatieve grondsoorten de dikte van de effectieve wortelzone gegeven.

Tabel 6 Dikte van de effectieve wortelzone (cm) van een aantal gewassen voor verschillende grondsoorten.

Gewas	Gras	Aardappelen	Granen	Bieten	Mais
Grondsoort					
Veengronden	15-20	20-25	20-25	20-25	20-25
Moerige gronden	15-25	20-30	20-30	20-30	20-30
Podzolgronden					
- dun	20-25	25-35	25-35	25-35	25-35
- matig dik	25-35	30-50	30-50	30-50	30-50
Enkeerdgronden	40	50	50-60	50-60	50-70
Beekeerdgronden	20-30	30-40	30-40	30-40	30-40
Gooreerdgronden	20-25	25-30	25-30	25-30	25-30
Vaaggronden - zand	15-20	20-30	20-30	20-30	20-30
" - klei	15-40	25-50	25-50	25-50	25-60
Veenkoloniale gronden					
- niet gemengwoeld	15-20	20-25	20-25	20-25	20-25
- gemengwoeld	30-35	30-40	30-50	30-50	30-60

Bij schadegevallen wordt aan de hand van het voorkomen van wortels in het terrein per boring de dikte van de bewortelbare zone vastgesteld. Afhankelijk van de bodemeenheid varieert de dikte van 10 tot 80 cm. Behalve de A-horizont kunnen

ook gedeelten van de onderliggende B- en C-horizonten deel uitmaken van de zone waarin beworteling kan voorkomen. Uit deze gegevens wordt per gewas de effectieve worteldiepte afgeleid, waarbij zo mogelijk de van nature aanwezige dikte-differentiatie van diverse bodemeenheden tot gelding wordt gebracht.

2.3.4. Grondwaterstand en basisafvoer

Bij toepassing van onverzadigde zone modellen fungeert het freatisch vlak dikwijls als ondergrens van het model. Voor de berekening van het vochttekort dient de grondwaterstand aan het begin van de geplande rekenperiode bekend te zijn. Daarnaast dienen gegevens beschikbaar te zijn over het verloop van de grondwaterstand gedurende de rekenperiode en/of gegevens over de zogenaamde basisafvoer, zijnde de flux door de onderkant van het model vanuit of naar de verzadigde zone.

De begindiepte en het verloop van de grondwaterstand in een bepaald gebied kunnen worden afgeleid uit peilbuiswaarnemingen. In de praktijk zijn echter in veel gevallen geen of onvoldoende grondwaterstandswaarnemingen beschikbaar om het werkelijk opgetreden grondwaterstandsverloop nauwkeurig te kunnen bepalen. Mede om deze reden wordt bij schadeberekeningen veelal gebruik gemaakt van het gemiddelde grondwaterstandsverloop en een gemiddelde waarde voor de begingrondwaterstand.

Het gemiddelde verloop van de grondwaterstand wordt gekarakteriseerd door een indeling in grondwatertrappen (Gt). De indeling is in hoofdstuk 1 reeds vermeld. Grondwatertrappen zoals op bodemkaarten aangegeven, zijn voor gedetailleerde schadebepalingen echter niet bruikbaar omdat per Gt een groot aantal varianten in zowel GHG als GLG mogelijk zijn. Niettemin worden voor een globale schadebepaling arbitraire rekenwaarden voor GHG en GLG gekozen die per Gt ten naaste bij overeenkomen met het rekenkundig gemiddelde van het GHG respectievelijk GLG traject.

Meer exacte waarden voor beide parameters worden verkregen bij de kartering aan de hand van hydromorfe kenmerken, al dan niet aangevuld met de resultaten van een bewerking van de vroegere en huidige grondwaterstandsgegevens. De uitkomsten van momentopnamen van de huidige grondwaterstanden kunnen hiertoe ook belangrijke bijdragen leveren. De gemiddelde begindiepte van de grondwaterstand wordt meestal gerelateerd of gelijkgesteld aan de Gemiddelde Voorjaars Grondwaterstand (GVG) zijnde de gemiddelde grondwaterstand op 14 april. De GVG is bij de karte-

ring niet met behulp van hydromorfe kenmerken vast te stellen. Hooguit kan een momentopname van de grondwaterstand op of omstreeks 14 april inzicht verschaffen in het niveau van de huidige GVG. De GVG wordt doorgaans vastgesteld middels de door Van der Sluijs (1982) gegeven betrekking:

$$GVG = 1,02 \text{ GHG} + 0,19 (\text{GLG} - \text{GHG}) + 5,4. \text{ (cm-mv)} \quad (3)$$

Deze relatie is gevonden na verwerking van stambuisgegevens van open zandgronden. Bij aanwezigheid van storende lagen is genoemde betrekking echter niet bruikbaar. Als vuistregel kan worden gesteld dat voor gronden met een geringe fluctuatie (Gt I, II, III en IV) geldt:

$$GVG = \text{GHG} + 15 \quad (\text{cm-mv}) \quad (4a)$$

en voor gronden met een grotere fluctuatie (Gt V, VI en VII):

$$GVG = \text{GHG} + 25 \quad (\text{cm-mv}) \quad (4b)$$

Uit onderzoek in gebieden met keileem ondiep in het profiel bleek de GVG zeer sterk bepaald te worden door de diepteligging van het keileempakket. Indien geen of slechts in beperkte mate grondwaterstandsgegevens beschikbaar zijn geschiedt het vaststellen van de GVG in dergelijke gronden veelal niet zonder problemen.

Behalve door het grondwaterstandsverloop kan de randvoorwaarde aan de onderzijde bij de modelberekeningen eveneens worden beschreven door de basisafvoer in de rekenperiode. De basisafvoer is echter een moeilijk meetbare grootte, die daarom dikwijls wordt geschat.

Bij berekeningen van het vochttekort werd tot voor kort de basisafvoer per profiel iteratief berekend, uitgaande van de meteorologische omstandigheden in een 50% "statistisch" jaar¹ en het gemiddelde grondwaterstandsverloop. De grondwaterstand aan het begin en aan het eind van de rekenperiode wordt hierbij verondersteld overéén te komen met de GVG respectievelijk de GLG. De aldus berekende constante, gemiddelde basisafvoer werd vervolgens als invoergegeven gebruikt om uitgaande van de GVG als begingrondwaterstand de vochttekorten voor het betreffende profiel in jaren met uiteenlopende droogtegraad te berekenen.

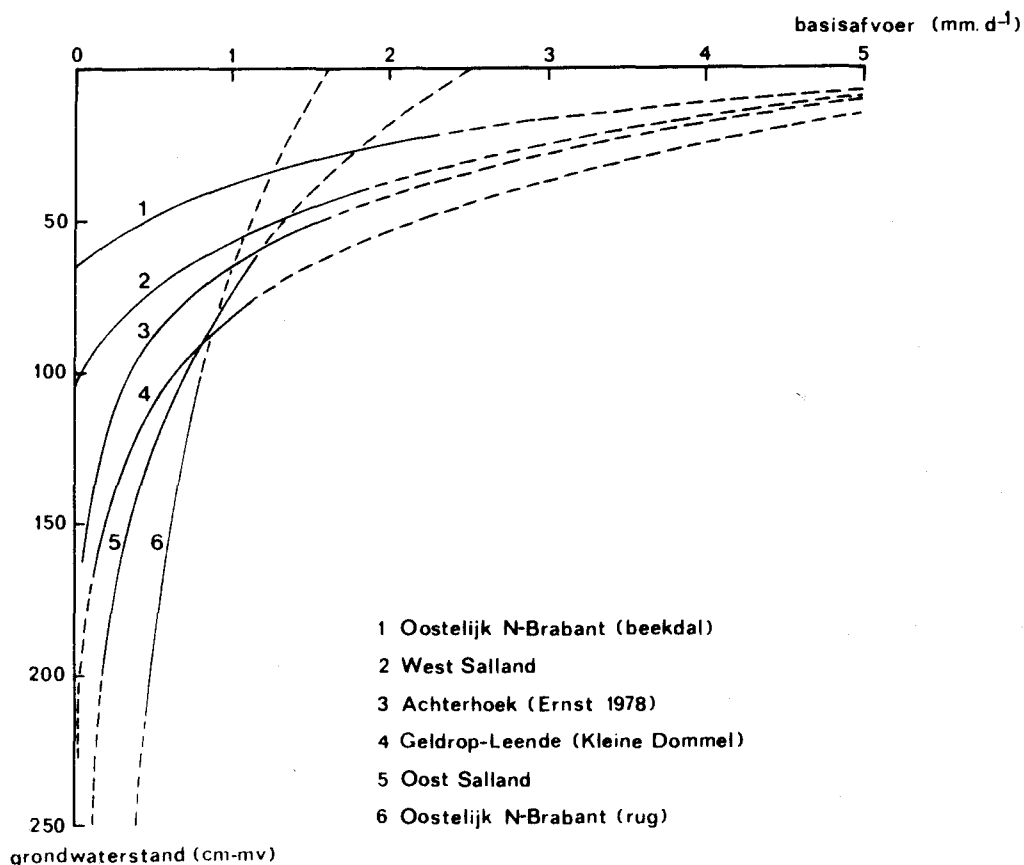
Deze oplossing van de randvoorwaarde aan de onderzijde van het systeem, gecombineerd met het gebruik van werkelijke meteorologische invoergegevens, kan, door de mogelijk grote verschillen hierin, leiden tot berekening van irreële grondwaterstanden. Omgekeerd kan het gebruik van een gemiddeld grondwaterstandsverloop in combinatie met werkelijke meteorologische basisgegevens leiden tot

¹ Voor verklaring van deze term zie 2.3.5.

buitensporige waarden voor de basisafvoer.

Concluderend kan worden gesteld dat bij gebruik van werkelijke meteorologische basisgegevens, de randvoorwaarde aan de onderzijde van het systeem het beste beschreven kan worden door het werkelijke grondwaterstandsverloop per tijdstap in te voeren dan wel door een voor het betreffende profiel geldende relatie die het verband tussen de grondwaterstand en de basisafvoer beschrijft. Het werkelijke grondwaterstandsverloop is echter meestal niet bekend, zodat praktisch gezien de randvoorwaarde aan de onderkant opgelost dient te worden door gebruik te maken van een relatie tussen de grondwaterstand en de basistoevoer/-afvoer. Door Ernst en Feddes (1979) zijn deze relaties berekend voor een aantal zandgebieden met een uitéénlopend reliëf (Fig. 2.3). Genoemde relaties gelden echter als gemiddelde voor een bepaald gebied. Binnen een dergelijk gebied kunnen, afhankelijk van lokale omstandigheden als doorlatendheid en dikte van de bodemlagen en ligging ten opzichte van de primaire, secundaire en tertiaire ontwateringsmiddelen, van plaats tot plaats grote verschillen voorkomen. Derhalve kunnen de relaties van figuur 2.3 alleen maar als uitgangspunt worden gekozen.

Figuur 2.3 Basisafvoer als functie van de grondwaterstandsdiepte voor een aantal gebieden in Nederland (naar Ernst en Feddes, 1979).



Voor berekeningen met het eerder beschreven model LAMOS wordt de relatie tussen de grondwaterstand en de basisafvoer meestal iteratief bepaald.

Uitgaande van een gegeven begingrondwaterstand en een aangenomen verband tussen grondwaterstand en basisafvoer wordt een periode van 30 jaren doorgerekend. Op basis van de door het model per tijdstap berekende grondwaterstanden en de hiervan afgeleide GLG wordt vervolgens de aangenomen relatie tussen de grondwaterstand en de basisafvoer door het model iteratief zodanig aangepast dat gerekend over deze periode de berekende GLG overeenkomt met de opgegeven waarde voor de GLG.

Bij schadeberekeningen wordt, ter besparing op de rekenkosten, voor de berekening van de vochttekorten in de verlaagde situatie(s) meestal uitgegaan van de voor de uitgangssituatie berekende grondwaterstanden, nadat deze zijn gecorrigeerd voor de onttrekkingsinvloed (verlaging van de GVG en de GLG). Uitgaande van een rekenperiode van 1 april tot 1 oktober, wordt de verlaging van de GVG en de GLG geacht op te treden aan het begin van de 1e tijdstap resp. aan het eind van de 18e tijdstap (na 180 dagen). De verlaging voor de tussenliggende tijdstappen wordt verkregen door middel van lineaire interpolatie.

2.3.5. Meteorologische gegevens

Vochttransporten in de onverzadigde zone worden in belangrijke mate veroorzaakt door meteorologische factoren. Bij de berekening van eventueel optredende vochttekorten zijn gegevens over hoeveelheid en verdeling van neerslag en verdamping derhalve van groot belang. Deze gegevens worden voor een groot aantal plaatsen verzameld en geregistreerd door het Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut (KNMI). Onderstaand wordt globaal enige aandacht geschonken aan enkele aspecten van verdamping en neerslag voor zover van belang voor de berekening van eventuele vochttekorten. Voor meer uitvoerige beschouwingen over verschillende aspecten van neerslag en verdamping wordt verwezen naar Buishand en Velds (1980). In deze publikatie is tevens een beschrijving van een aantal waarnemingsstations opgenomen alsmede de maand- en jaarsommen van neerslag en verdamping van enkele langjarige reeksen. Ook in rapport nr. 10 van het KNMI "Klimatologische gegevens van Nederlandse stations" (1982), is een groot aantal gegevens vermeld. De Bruin (1981) geeft voor een zestal stations langjarige reeksen van neerslag en verdamping per maand alsmede frequentietabellen van de openwaterverdamping, de neerslag en het verdampingoverschot.

Verdamping

In het kader van dit rapport gaat de belangstelling voornamelijk uit naar de verdamping van begroeide oppervlakken en dan met name die oppervlakken die voor landbouwkundige doeleinden in gebruik zijn.

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 (interceptie-verdamping, E_i). Beide laatstgenoemde hoeveelheden vormen samen de evaporatie. De totale hoeveelheid verdampt water wordt aangeduid als verdamping/evapotranspiratie, E :

$$E = E_t + E_s + E_i. \quad (5)$$

Indien voldoende water voor evapotranspiratie beschikbaar is en er geen beperkingen optreden met betrekking tot de opneembaarheid van het water door de plant en stroming in de grond is de verdamping potentieel (E_p). De grootte ervan wordt in dit geval uitsluitend bepaald door de aard en hoedanigheid van de begroeiing en door meteorologische factoren als straling, temperatuur, windsnelheid en dampdruk. Indien er onvoldoende water beschikbaar is treden er reducties op in de gewasverdamping met als gevolg groeivertragingen en opbrengstdepressies. Voor de berekening van de potentiële verdamping zijn diverse berekeningsmethoden ontwikkeld zoals door Makkink (1957,1960), Rijtema (1965), Monteith (1965), Priestley and Taylor (1972), Thom and Oliver (1977). Voor een overzicht hiervan zie Verslagen en Mededelingen CHO-TNO, nr. 28 (1981).

Genoemde methoden zijn in principe alle gebaseerd op/afgeleid van een door Penman (1948) ontwikkelde methode voor de berekening van de verdamping van een oneindig uitgestrekt open wateroppervlak zonder warmteopslag, de zogenaamde open water verdamping (E_o).

Voor nadere informatie over de fysische achtergronden van de verdampingsberekening en het gebruik van de diverse berekeningsmethoden wordt verwezen naar onder andere Rijtema (1965), Rijtema en Ryhiner (1968), Feddes (1971), Van Boheemen (1977), Van Bakel (1978), De Bruin (1979), De Bruin en Kohsiek (1981), Stricker (1981), Nieuwenhuis en Palland (1982) en het verslag van de Informele Groep Verdamping (1984).

In de praktijk wordt voor de bepaling van de potentiële verdamping naast de bovengenoemde fysische berekeningsmethoden veelvuldig gebruik gemaakt van een empirische methode waarbij de potentiële verdamping wordt afgeleid uit de open water verdamping op basis van de vergelijking:

$$E_p = f \cdot E_o \quad (6)$$

waarin f de zogenaamde gewasfactor voorstelt. In tabel 7 zijn de f -waarden vermeld, zoals deze zijn gebruikt door de Werkgroep Landbouw van de Projectgroep Grevelingen zout/zoet in het kader van het onderzoek naar de landbouwwatervoorziening in Zuidwest Nederland (1982). Voor de verdamping van kale grond wordt voor f veelal een waarde van 0,3 aangehouden.

Tabel 7. Gewasfactoren (f) voor een aantal gewassen bij verschillende stadia van bodembedekking in de loop van het groeiseizoen (bron: Werkgroep Landbouw van de Projectgroep Grevelingen zout/zoet, 1982)

	april			mei			juni			juli			augustus			september		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
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	-	-
Bieten	-	-	-	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
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	-	-	-	-	-
Peulvruchten	-	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	0,9	0,9	0,8	0,6	-	-	-	-	-	-	-
Plantuien 2e j.	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	-	-	-	-	-
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
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	-	-
Bollen en knollen	-	-	-	-	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
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
Mais 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

¹⁾ Ontleend aan Verheijen en Steenvoorden (1981).

Bij het gebruik van f -waarden dient men zich heel goed te realiseren hoe E_o is berekend. In de praktijk worden de waarden voor E_o meestal ontleend aan de maandoverzichten van de weersgesteldheid (MOW) van het KNMI.

Deze E_o waarden zijn gebaseerd op de overdaggemiddelden van de temperatuur en luchtvochtigheid en op berekende waarden van de globale straling. De voorkeur zou echter principieel moeten worden gegeven aan E_o waarden berekend op basis

van 24 uren gemiddelden en gemeten globale straling. Deze laatste E_0 waarden worden onder andere verstrekt door het Consulentenschap voor Bodemaangelegenheden in de landbouw. Voor een verdere beschouwing over deze problematiek zie Van Boheemen (1977) en De Graaf (1983). Het ligt in de verwachting dat in de naaste toekomst het KNMI met verdampingscijfers van kort gras in plaats van open water zal gaan werken.

Door het KNMI worden voor een 15-tal stations decadesommen van E_0 , berekend volgens Penman, verstrekt. Aanvankelijk werden alleen de maandsommen vermeld. Voor berekeningen waarvoor decadesommen gewenst zijn, worden deze maandsommen in de praktijk veelal opgesplitst op basis van de opgetreden globale straling per decade.

De verdamping vertoont een zeer sterke seizoensmatige fluctuatie. In de maanden december en januari bedraagt de open water verdamping slechts enkele millimeters, terwijl in de zomer waarden worden bereikt van gemiddeld 100 à 120 mm/maand. De variatie in E_0 tussen de verschillende jaren is daarentegen relatief gering. In extreem droge jaren als 1947, 1959 en 1976 is de gesommeerde waarde van E_0 ca. 20% hoger dan gemiddeld.

Tabel 8. Gemiddelden (normalen) van de Penmanverdamping (E_0), in mm, voor de tijdvakken 1941-1970 (naar Buishand en Velds, 1980) en 1951-1980 (naar KNMI, 1982).

Station	Jaarsom	Winterhalfjaar (oktober-maart)		Zomerhalfjaar (april-september)		
		Tijdvak	'41-'70	'51-'80	'41-'70	'51-'80
Den Helder/ De Kooy	767	730	143	128	625	602
Naaldwijk/ Hoek van Holland	752	686	122	113	631	573
Vlissingen	736	727	125	126	610	601
Hoorn	712	697	107	111	605	586
Oudenbosch	708	689	105	106	603	583
Rottum/Joure/ Leeuwarden	672	640	98	91	574	549
De Bilt	673	642	97	90	575	552
Wijster/Witteveen/ Dedemsvaart	655	610	93	79	562	531
Winterswijk	650	650	95	101	555	549
Gemert	686	687	106	106	580	581
Beek (Limburg)	672	683	107	112	565	571

Behalve tijdsafhankelijk is de open water verdamping ook plaatsafhankelijk (zie tabel 8). De grootte van de open water verdamping vertoont een duidelijke samenhang met de afstand tot de kust. In de kustgebieden is de gemiddelde open water verdamping ca. 10 à 15% hoger dan in het oosten van het land. Binnen een bepaalde regio zijn de verschillen in E_0 -waarden echter gering.

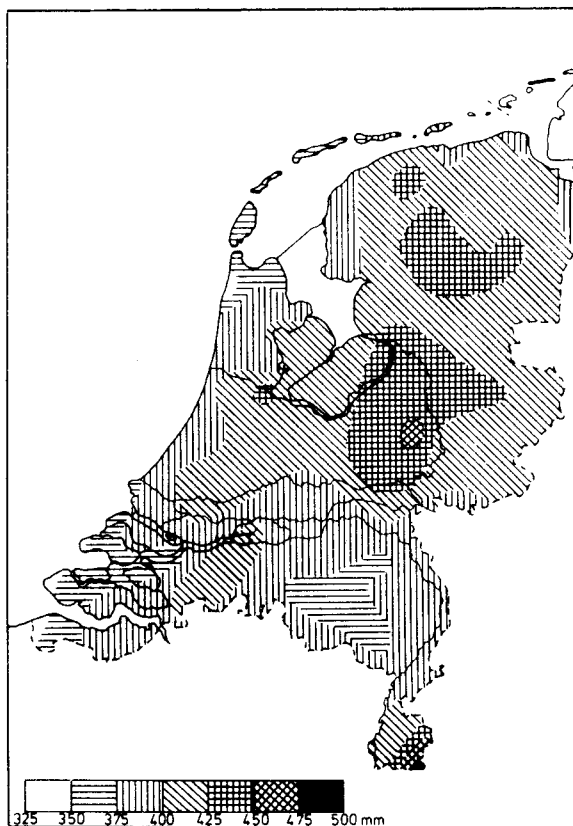
Neerslag

Voor het berekenen van de eventueel optredende vochttekorten zijn gegevens over de hoeveelheid en de verdeling van de neerslag in het zomerhalfjaar (1 april-1 oktober) van belang. De gemiddelde hoeveelheid neerslag in het zomerhalfjaar varieert van ca. 350 tot 475 mm (Fig. 2.4).

In de kustgebieden valt de grootste neerslaghoeveelheid over het algemeen in de maanden september, oktober en november; meer landinwaarts is dit het geval in de maanden juli en augustus.

Figuur 2.4.

Gemiddelde neerslag hoeveelheid (normaal) voor het zomerhalfjaar (april-september), berekend voor het tijdvak 1941-1970 (naar Buishand en Velds, 1980).



Naast regionale verschillen in gemiddelde hoeveelheid en verdeling van de neerslag, kunnen zowel van jaar tot jaar als binnen een bepaald jaar van plaats tot plaats grote verschillen optreden. Gerekend over de periode 1 april tot 1 oktober

kan de neerslaghoeveelheid in regenrijke jaren 40 à 50 % meer bedragen dan gemiddeld. In zeer droge jaren (1959, 1976) daarentegen kan de neerslaghoeveelheid 50 à 60% minder zijn dan de gemiddelde hoeveelheid in deze periode.

Door het KNMI wordt op ruim 300 stations de neerslag gemeten. De gegevens worden in de vorm van de dag-, maand- en decadesommen gepubliceerd. Uit deze gegevens worden tevens de districtsgemiddelden bepaald. Op 15 hoofdstations vindt continue registratie van de neerslaghoeveelheden plaats.

Potentieel verdampingsoverschot

Het verdampingsoverschot wordt hier gedefinieerd als het verschil tussen de potentiële evapotranspiratie E_p en de gevallen neerslag P , dus : $E_p - P$.

Aangezien in de praktijk dikwijls aangehouden wordt $E_p \approx 0,8 E_o$ is een alternatieve uitdrukking voor het verdampingsoverschot: $0,8 E_o - P$.

In tabel 9 is voor een zestal waarnemingsstations voor het zomerhalfjaar het gemiddelde verdampingsoverschot per maand weergegeven. Het gemiddelde verdampingsoverschot is het grootst in de maanden mei en juni.

Door de grotere verdamping en de geringere neerslaghoeveelheden in de kustgebieden is het verdampingsoverschot hier aanzienlijk groter dan bij de meer landinwaarts gelegen waarnemingsstations.

Tabel 9. Gemiddelde maandelijks verdampingsoverschot ($0,8 E - P$) in mm over de jaren 1911 tot en met 1975 in het zomerhalfjaar voor een zestal waarnemingsstations (afgeleid van De Bruin, 1981).

	april	mei	juni	juli	aug.	sept.	totaal
Den Helder	19	50	60	37	14	-18	161
De Bilt	9	32	33	17	-12	-23	55
Winterswijk	5	31	39	8	-5	-20	46
Oudenbosch	14	37	37	19	-2	-19	86
Gemert	14	32	36	22	4	-10	96
Avereest	2	31	29	3	-14	-23	29

Behalve regionale en plaatselijke verschillen treden er ook van jaar tot jaar grote verschillen in de grootte van het verdampingsoverschot op. Ter illustratie is in tabel 10 de cumulatieve frequentieverdeling (overschrijdingskans) van het verdampingsoverschot over de periode 1 april-1 oktober van de in tabel 9 genoemde waarnemingsstations weergegeven.

Tabel 10. Cumulatieve frequentieverdeling van het verdampingsoverschot (0,8 E - P) in mm over de periode 1 april-1 oktober voor een zestal waarnemingsstations (afgeleid van De Bruin, 1981).

Waarnemingsstation	Overschrijdingskans (%)								
	1,5	5	10	20	50	80	90	95	98,5
Den Helder	428	358	290	245	151	97	37	-9	-104
De Bilt	360	274	195	141	48	-26	-93	-141	-241
Winterswijk	339	288	167	118	50	-31	-85	-148	-186
Oudenbosch	383	291	241	140	80	9	-50	-75	-95
Gemert	439	314	250	145	89	13	-14	-61	-101
Avereest	322	233	139	109	23	-52	-83	-127	-175

Voorbeeld: In gemiddeld 5 van de 100 jaren is in Den Helder het verdampingsoverschot over de periode 1 april-1 oktober groter of gelijk aan 358 mm.

Bij modelberekeningen worden de meteorologische gegevens over perioden van een dag, een decade of soms van een maand ingevoerd. De wijze van invoer is afhankelijk van het te hanteren rekenmodel. Bij toepassing van pseudo-stationaire modellen worden meestal decadesommen en soms maandsommen gebruikt. Hierbij wordt er dan vanuit gegaan dat de hoeveelheid neerslag die binnen een tijdsperiode valt ook volledig beschikbaar is voor verdamping.

Mooy en Grotentraast (1981) onderzochten met het model UNSAT van De Laat de invloed van de tijdstapgrootte op de te berekenen vochttekorten voor een aantal zandgronden bij verschillende grondwaterstandsdiepten. Bij het gebruik van grote tijdstappen (30 dagen) bleek het berekende vochttekort geringer te zijn dan wanneer kleine tijdstappen (10 dagen) worden genomen. Dit verschil neemt toe naarmate de capillaire opstijging en het vochtbergend vermogen van de wortelzone geringer is.

Het gemiddelde verschil in vochttekort voor grasland over een periode van 30 jaar berekend met tijdstapgrootten van 10 respectievelijk 30 dagen varieert afhankelijk van bovengenoemde factoren tussen 0 en 15 mm (waarnemingsreeks Avereest). Globaal komt dit overeen met 0 à 4% van de bruto potentiële opbrengst van grasland.

"Werkelijke" jaren en "statistische" jaren

Bij de berekening van vochttekorten kan ten aanzien van de meteorologische basisgegevens onderscheid worden gemaakt tussen berekening op basis van "werkelijke" jaren en berekening op basis van "statistische" jaren.

In het eerste geval wordt gebruik gemaakt van reeksen feitelijk opgetreden neerslag-, verdampings- en/of verdampingsoverschotcijfers.

Bij vochttekort berekeningen op basis van "statistische" jaren wordt eerst een frequentie-analyse van de meteorologische basisgegevens uitgevoerd. Aan de hand hiervan worden per periode en per tijdstap de neerslag- (P), verdampings- (E_p) en/of de verdampingsoverschotsommen ($E_p - P$) berekend die met een bepaalde frequentie worden onder- c.q. overschreden. Deze statistisch bewerkte gegevens dienen als basis voor de vochttekort berekeningen. De berekende vochttekorten worden verondersteld eenzelfde overschrijdingskans te hebben als de meteorologische basisgegevens die aan de berekening ten grondslag liggen. Het gemiddelde vochttekort wordt verkregen door integratie van de berekende vochttekorten over jaren met een frequentie-verdeling van 0 tot 100%.

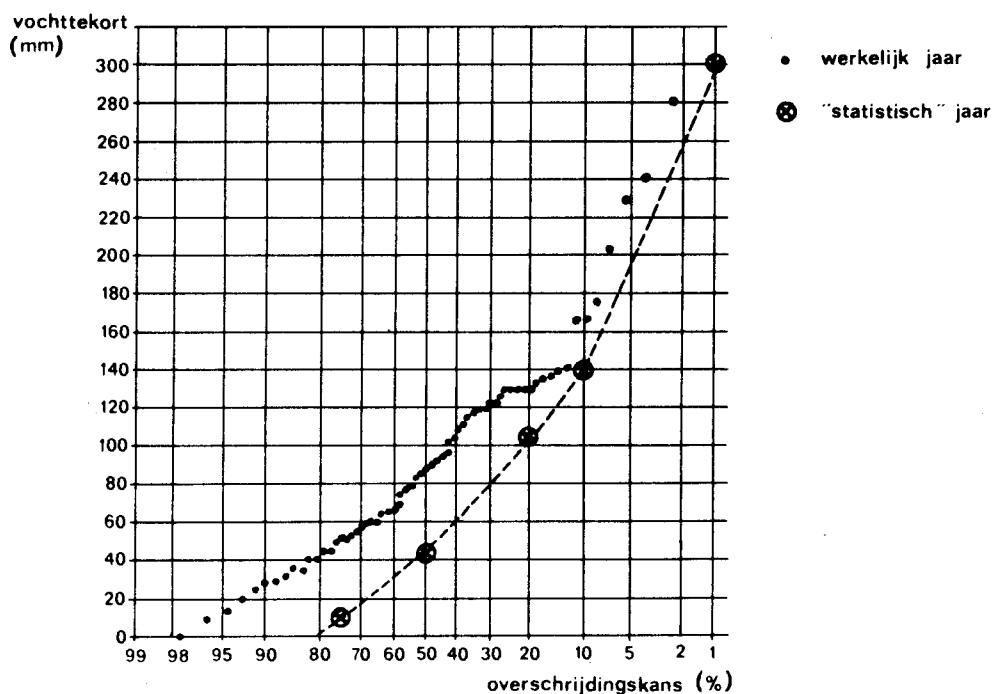
Aan het gebruik van statistisch bewerkte meteorologische invoergegevens voor de berekening van het vochttekort zijn echter een aantal bezwaren verbonden. De belangrijkste hiervan zullen in het onderstaande nader worden besproken.

De verdampingsoverschotsommen van "statistische" jaren worden in de praktijk op verschillende wijzen bepaald. Rijtema (1971) berekende uit praktische overwegingen het verdampingsoverschot van een k -daagse periode, door het verschil te bepalen tussen de k -daagse verdampingssom en de k -daagse neerslagsom bij dezelfde overschrijdings- resp. onderschrijdingskans. Aan het aldus bepaalde verdampingsoverschot werd dezelfde overschrijdingskans toegekend. Deze benadering is echter alleen toegestaan als E_p en P volledig negatief gecorreleerd zijn (correlatiecoëfficiënt = -1). Bovendien worden per periode de neerslag-, verdampings- en verdampingsoverschotsommen van een "statistisch" jaar, meestal berekend uit de cumulatieve k -daagse sommen van de betreffende grootheden. Buishand (1982) laat zien dat op deze wijze in de eerste helft van het groeiseizoen in droge jaren te hoge en in natte jaren te lage verdampingsoverschotten worden berekend. In de tweede helft van het groeiseizoen daarentegen worden in droge jaren te lage en in natte jaren te hoge waarden voor het verdampingsoverschot verkregen. Als gevolg van deze afwijkingen worden met bovengenoemde werkwijze te geringe vochttekorten berekend. Het verdient daarom meestal de voorkeur om voor de verdeling van verdampingsoverschotten in een bepaald "statistisch" jaar uit te gaan van het gemiddelde verloop van het cumulatieve verdampingsoverschot in jaren van de betreffende droogtegraad. Buishand (1982) beschrijft een methode om het gemiddelde verdampingsoverschot te bepalen voor

verschillende deelperioden binnen een zomerhalfjaar van een bepaalde droogtegraad.

Als grootste bezwaar tegen het gebruik van "statistische" jaren geldt dat door de statistische bewerking van de invoergegevens er een vereffening optreedt, waarbij onregelmatigheden in de verdeling van neerslag, verdamping en verdampingsoverschot genivelleerd worden. Door Mooy en Grotentraast (1981) is een onderzoek verricht naar de invloed hiervan op de te berekenen vochttekorten. Enige resultaten hiervan zijn samengevat in figuur 2.5. en in de tabellen 11 en 12. In figuur 2.5. is de overschrijdingskans weergegeven van de vochttekorten van gras op een hangwaterprofiel met een dun humeus dek, berekend op basis van "werkelijke" jaren over de periode 1911 t/m 1977. Ter vergelijking zijn in deze figuur eveneens de vochttekorten voor de periode 1 april-1 oktober, berekend op basis van "statistische" jaren uitgezet tegen de overschrijdingskans van het

Figuur 2.5. Overschrijdingskans van vochttekorten van gras op een hangwaterprofiel met een dun humeus dek, voor de periode 1 april-1 oktober, berekend op basis van "werkelijke" jaren en "statistische" jaren (waarnemingsreeks Avereest).



Voorbeeld: in 30% van het aantal jaren bedraagt het vochttekort berekend op basis van "werkelijke" jaren, 120 mm of meer; berekend op basis van "statistische" jaren is het vochttekort in 30% van de jaren 80 mm of meer.

cumulatieve verdampingsoverschot ($E_p - P$) weergegeven. Uit figuur 2.5. blijkt dat, behalve in zeer droge jaren (droger dan 10%), de vochttekorten berekend op basis van "werkelijke" jaren ca. 40 mm hoger zijn dan de vochttekorten berekend op basis van "statistische" jaren.

In tabel 11 zijn voor een 3-tal groepen van jaren met een nagenoeg gelijke verdampingsoverschot ($E_p - P$) over het groeiseizoen, de berekende vochttekorten voor gras op een hangwaterprofiel met een dun humeus dek weergegeven, alsook de vochttekorten van "statistische" jaren met eenzelfde verdampingsoverschot.

Tabel 11. Vochttekort bij grasland op hangwaterprofielen met een dun humeus dek voor een 3-tal groepen "werkelijke" jaren met een vrijwel overeenkomstig verdampingsoverschot ($E_p - P$) over het groeiseizoen en voor vergelijkbare "statistische" jaren. (Waarnemingsreeks Avereest).

Verdampingsoverschot ($E_p - P$)					
100 mm		10 mm		- 90 mm	
"werkelijk" jaar	vochtte- kort (mm)	"werkelijk" jaar	vochtte- kort (mm)	"werkelijk" jaar	vochtte- kort (mm)
1913	78	1918	103	1924	40
1941	167	1937	36	1956	59
1944	94	1969	58	1957	129
1973	137	1980	73	1972	0
"statistisch" jaar	82	"statistisch" jaar	26	"statistisch" jaar	0

De berekende vochttekorten van de "werkelijke" jaren zijn in vrijwel alle gevallen groter dan het vochttekort berekend op basis van het vergelijkbare "statistische" jaar. Tussen individuele jaren binnen een groep, zijn verschillen tot meer dan 100 mm vochttekort of wel ca. 20 à 25% van de bruto potentiële grasopbrengst mogelijk. Van Lanen (1981 a) vond voor een zware klei-op-veen-profiel op een Gt III verschillen in dezelfde orde van grootte.

Genoemde verschillen in vochttekort moeten nagenoeg volledig worden toegeschreven aan verschillen in de verdeling van de neerslag en de verdamping binnen het groeiseizoen.

In tabel 12 zijn de gemiddelde vochttekorten voor grasland, berekend op basis van werkelijke jaren en "statistische" jaren vermeld voor een tweetal bodemprofielen met een dun humeus dek bij verschillende grondwaterstandsverlopen. Voor schadeberekeningen zijn echter niet zozeer de absolute waarden van de berekende vochttekorten van belang dan wel de toename hiervan bij verlaging van de grondwaterstand. In tabel 12 is daarom tevens de toename van de berekende vochttekorten tussen de onderscheiden grondwaterstandsverlopen vermeld.

Tabel 12. Gemiddeld vochttekort, D (mm) voor grasland, berekend op basis van "statistische" jaren en "werkelijke" jaren voor twee bodemtypen bij verschillende grondwaterstandsverlopen en de toename van het vochttekort δ (mm) per grondwaterstandsklasse (waarnemingsreeks Avereest).

		GVG	45	60	80	110	145	300					
		GLG	100	125	150	175	205	300					
Profiel	Jaar		D	δ	D	δ	D	δ	D	δ	D	δ	
dun humeus dek op leemarm matig fijn zand	statistisch		4	5	9	15	24	18	42	8	50	13	63
	werkelijk		17	13	30	22	52	16	68	8	76	16	92
dun humeus dek op zwak lemig fijn zand	statistisch		0	0	0	3	3	10	13	19	32	27	59
	werkelijk		0	1	1	12	13	26	39	23	62	29	91

Uit de in tabel 12 vermelde gegevens kunnen de volgende conclusies worden getrokken.

- Bij gebruik van "statistische" jaren worden te geringe vochttekorten berekend. De afwijkingen lopen afhankelijk van de diepte van het grondwater (capillaire nalevering) op tot gemiddeld ruim 30 mm bij zandgronden met een dun humeus dek.
- De berekende toename van het vochttekort bij verlaging van de grondwaterstand is bij gebruik van "statistische" jaren eveneens te gering. Met name bij relatief ondiepe grondwaterstandsverlopen kan de toename berekend op basis van "werkelijke" jaren een veelvoud zijn van de toename berekend met behulp van "statistische" jaren.
- Het gebruik van "statistische" jaren voor de berekening van vochttekorten dient als onjuist te worden aangemerkt.

Karakterisering van de droogtegraad

Het zal duidelijk zijn dat er een relatie bestaat tussen de optredende vochttekorten van een bepaald profiel in een bepaald jaar en de droogtegraad van dat jaar. Door een reeks van jaren door te rekenen kan deze relatie worden vastgesteld, waarbij dan zonder gebruikmaking van rekenmodellen het optredende vochttekort direct kan worden afgeleid uit de droogtegraad van het betreffende jaar.

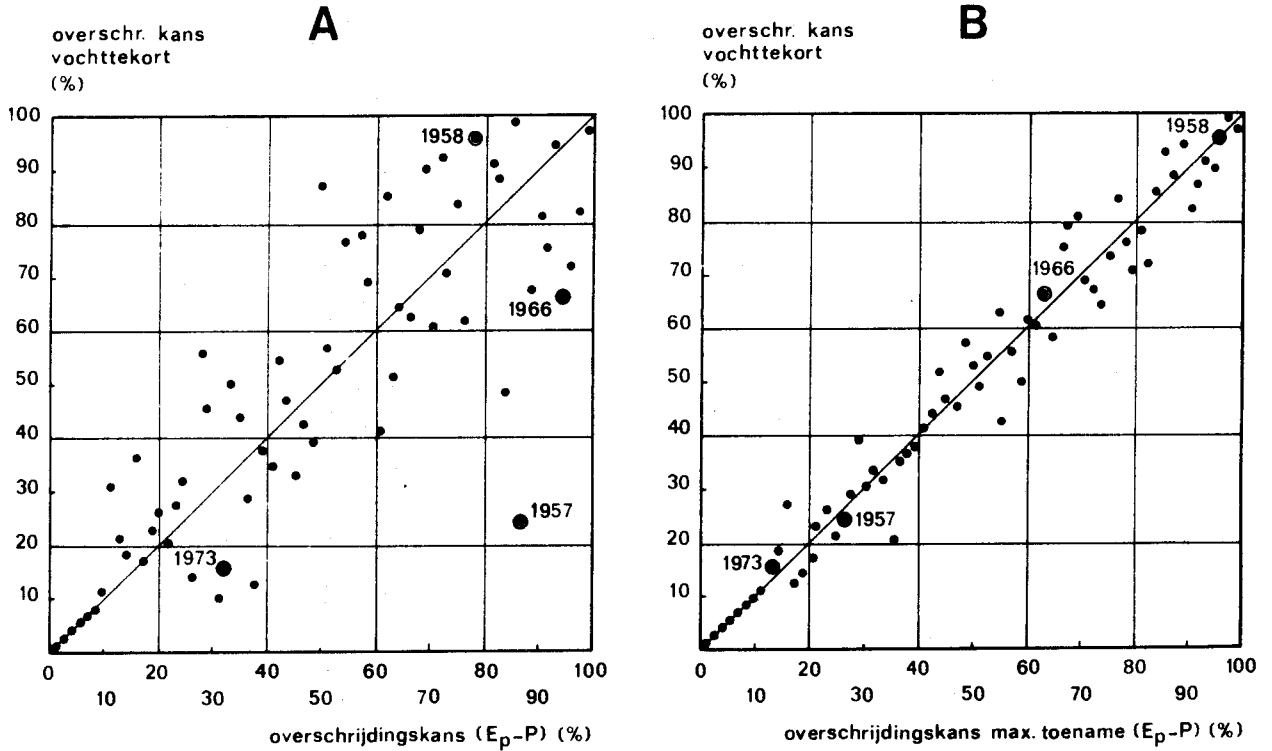
De droogtegraad wordt meestal gekarakteriseerd door de kans waarmee een bepaalde meteorologische grootte (of afgeleide hiervan) in een bepaalde periode wordt over- of onderschreden. Welke grootte hiervoor wordt gehanteerd is afhankelijk van de doelstelling. Voor meteorologische doeleinden zal de neerslagsom veelal als criterium gehanteerd worden. Voor landbouwkundige doeleinden wordt tot op heden vaak gebruik gemaakt van het potentiële verdampingsoverschot ($E_p - P$) over het groeiseizoen (1 april-1 oktober). Zoals hiervoor reeds is uiteengezet (zie tabel 11) is dit echter geen goede maatstaf voor de mate waarin vochttekorten optreden. Dit wordt nog eens geïllustreerd door figuur 2.6.A, waarin - uitgaande van de waarnemingsreeks van Avereest over de periode 1911 t/m 1977 - de overschrijdingskansen voor het optredende vochttekort op een hangwaterprofiel is uitgezet tegen de overschrijdingskansen van het potentiële verdampingsoverschot over het groeiseizoen. De punten vertonen een grote spreiding.

Een betere overeenstemming wordt verkregen door de overschrijdingskansen van het vochttekort te relateren aan de overschrijdingskansen van de maximale toename van het cumulatieve verdampingsoverschot (op basis van decade gegevens) in een aangesloten periode binnen het groeiseizoen (Fig. 2.6.B). Door deze benadering worden neerslagoverschotten aan het begin en/of aan het einde van het groeiseizoen buiten beschouwing gelaten. Deze neerslagoverschotten zijn wel medebepalend voor het verdampingsoverschot over het gehele groeiseizoen doch hebben geen invloed op de grootte van de eventuele vochttekorten.

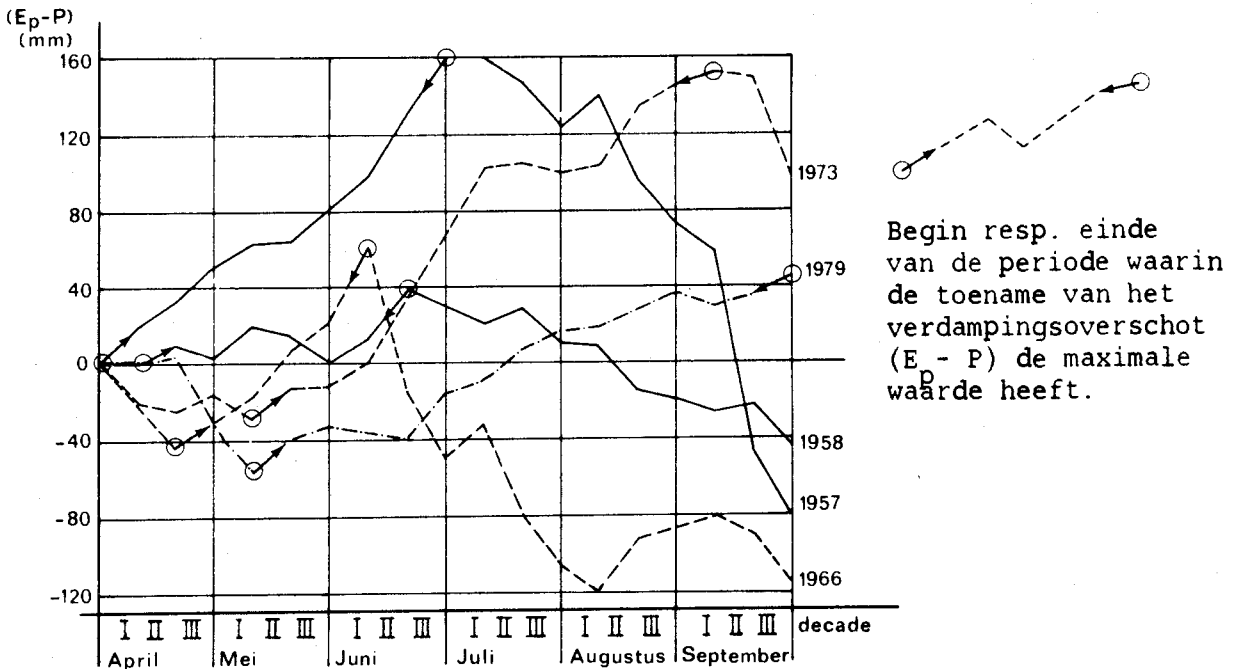
Ter verdere illustratie is in figuur 2.7. van de waarnemingsreeks Avereest van een aantal jaren het cumulatieve verdampingsoverschot over de periode april tot en met september weergegeven. Tevens is per jaar de periode aangegeven, waarover de toename van het verdampingsoverschot de grootste waarde heeft. De betreffende jaren zijn met uitzondering van 1979 in figuur 2.6. apart aangeduid.

Gezien de geringe spreiding van de punten in figuur 2.6.B kan worden gesteld

Figuur 2.6. Relatie tussen de overschrijdingskans van het berekende vochttekort en A: de overschrijdingskans van het verdampingsoverschot, en B: de overschrijdingskans van de maximale toename van het cumulatieve verdampingsoverschot. Zowel A als B gelden voor de periode april t/m september (waarnemingsreeks Avereest).

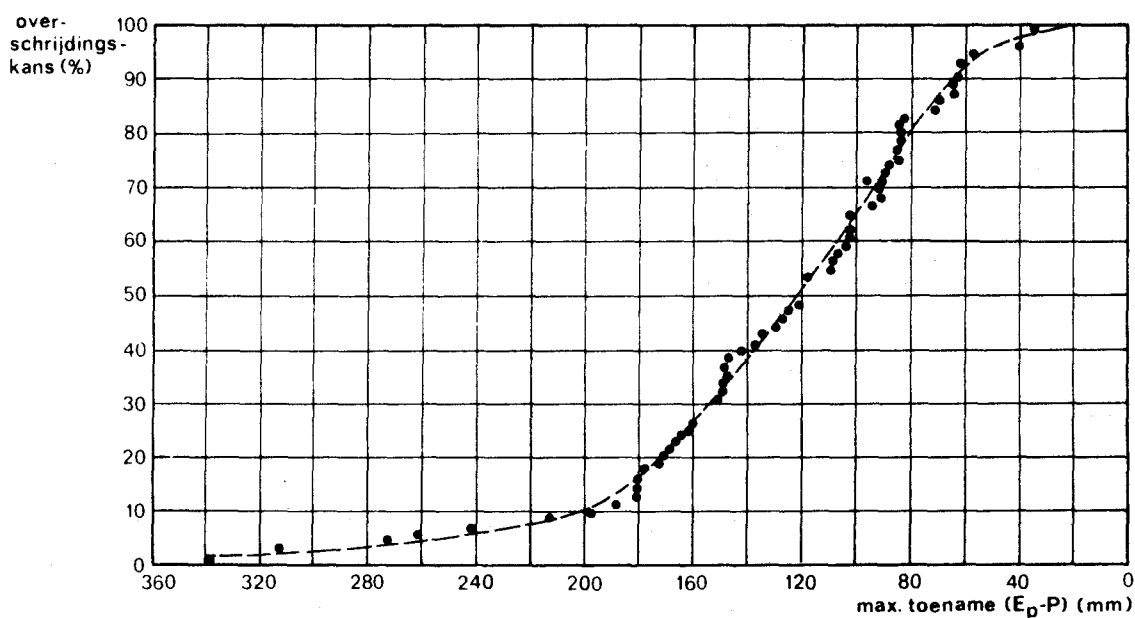


Figuur 2.7. Verloop van het cumulatieve verdampingsoverschot over de periode april tot en met september voor een vijftal jaren (waarnemingsreeks Avereest).



dat, uit landbouwkundig oogpunt bezien, de toename van het cumulatieve verdampingsoverschot (op basis van decadegegevens) over een aaneengesloten periode van het groeiseizoen, een goed criterium is om de droogtegraad van dat groeiseizoen te karakteriseren. Deze conclusie is ook getrokken door Van Boheemen (1980). In figuur 2.8. is voor de waarnemingsreeks Avereest de frequentieverdeling van deze maximale toename van het cumulatief verdampingsoverschot weergegeven.

Figuur 2.8. Frequentieverdeling (overschrijdingskans) van de maximale toename van $(E - P)$ gedurende het groeiseizoen (april tot en met september)^P voor de waarnemingsreeks Avereest.



2.4. METHODEN TER BEPALING VAN DE OPBRENGSTDEPRESSIE

2.4.1. Inleiding

Het is algemeen bekend dat wanneer een gewas als gevolg van vochttekorten niet potentieel kan verdampen er een reductie in de opbrengst optreedt. Er moet dus een verband bestaan tussen de produktie van een gewas en de verdamping. Gesteld dat we dit verband kennen, dan moet het mogelijk zijn om bij een bekend verloop van de verdamping in de tijd het verloop van de produktie met de tijd te berekenen. Effecten van ingrepen in de waterhuishouding op de produktie zouden dan kunnen worden vastgesteld via de invloed die ze hebben op de verdamping.

Vroeger werden effecten vaak gemeten aan de hand van kostbare en veel tijd ver-gende proefvelden, zoals de grondwaterstands- en grondverbeteringsproefvelden. Met de komst van de computer is het echter tevens mogelijk geworden om genoemde effecten te simuleren met behulp van numerieke modellen.

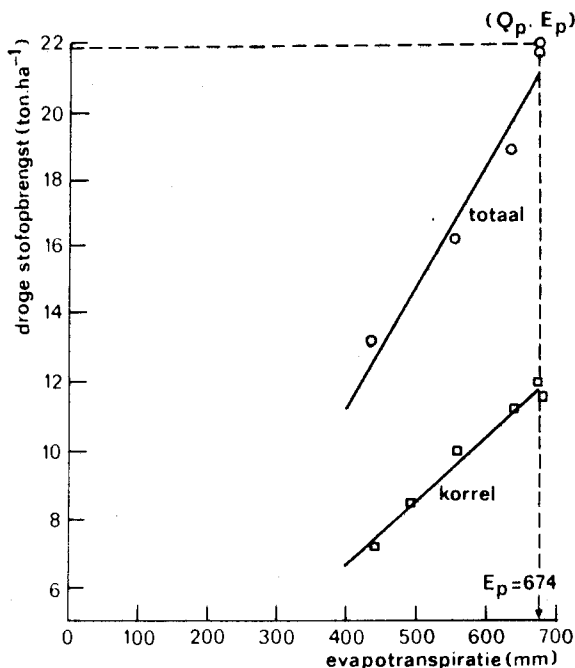
Produktiemodellen kunnen erg eenvoudig of erg gecompliceerd zijn. Ze zijn een weergave van de huidige stand van kennis over het plant-produktie systeem. Aange-zien hierbij vele aspecten een rol spelen en de kennis voor bepaalde aspecten gering is, wordt, om tot een praktisch werkbaar model te komen, dikwijls gebruik gemaakt van sterk vereenvoudigde, empirische relaties, ontleend aan veldproeven. Voor een overzicht van produktiemodellen in relatie tot watergebruik, zie Feddes (1979).

2.4.2. Proefveld- en lysimetergegevens betreffende opbrengst en watergebruik

De relatie tussen produktie en watergebruik is de laatste jaren aan intensief onderzoek onderworpen geweest. Voor een recent overzicht van waterbehoefte van gewassen en hun toepassing in irrigatieschema's, zie Doorenbos en Pruitt (1977). In de praktijk wordt de relatie produktie - watergebruik dikwijls op verschil-lende manieren weergegeven. Zo wordt totale droge stofproduktie vaak uitgezet tegen evapotranspiratie, transpiratie, hoeveelheid toegediend irrigatie- of be-regeningswater, beschikbaar bodemvocht, of beschikbaar bodemvocht + neerslag + watergift, etc. Daarbij worden dan allerlei soorten verbanden gevonden die moei-lijk generaliseerbaar zijn. Hetzelfde geldt in sterke mate wanneer een gedeelte van de droge stofproduktie, het uiteindelijk geoogste produkt (bijvoorbeeld graan, aardappels), tegen genoemde variabelen wordt uitgezet. Een moeilijkheid daarbij is dat een nauwkeurige vaststelling van bijvoorbeeld evapotranspiratie (verdamping door gewas + grond!) of effectieve watergift onder veldomstandighe-den veel problemen geeft. Dit houdt in dat in de literatuur relatief weinig goede experimenten beschreven zijn waarbij èn de produktie èn het watergebruik met voldoende nauwkeurigheid zijn gemeten.

Wanneer totale droge stofprodukties dan wel korrelopbrengsten van mais worden uitgezet tegen evapotranspiratie, worden rechtlijnige verbanden verkregen (Fig. 2.9.). De helling van de lijnen is afhankelijk van de gewasvariëteit (Stewart et al., 1977).

Figuur 2.9. Droge stof- en korrelopbrengst van mais in Davis in 1974 als functie van de evapotranspiratie gedurende het groeiseizoen. Voor het gebruik van de symbolen zie verg. 15 (naar Stewart et al., 1979).



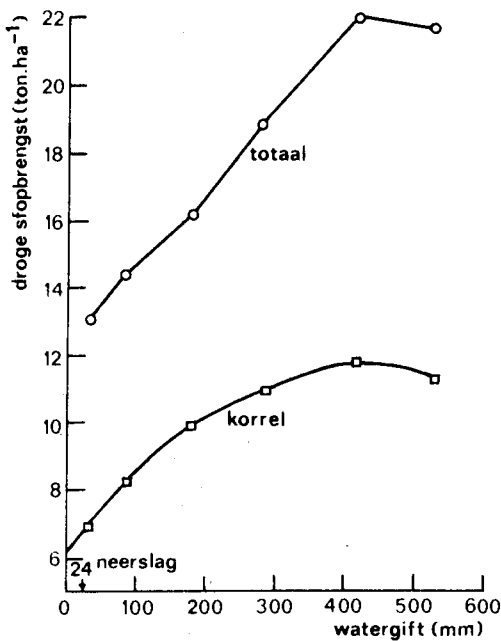
Behalve deze lineaire resultaten zijn ook duidelijk niet-lineaire verbanden in de literatuur aangetoond. Proeven van Stewart en Hagan (1969) met bijvoorbeeld wintertarwe geven een duidelijk convex (bol) verband aan (initieel een grote helling die vervolgens afneemt). Zij tonen een concaaf (hol) verband aan voor alfalfa (lucerne), dat wil zeggen een toenemende efficiëntie van het waterverbruik totdat een maximum is bereikt. Dit is te verklaren doordat de produktie-evapotranspiratie relaties verschillend zijn voor voorjaar, zomer en herfst. Als gevolg van de cyclische opslag van fotosynthese produkten worden deze in de herfst in de wortels en in het voorjaar in de top opgeslagen. De effectiviteit van het watergebruik is dus hoog in het voorjaar, normaal in de zomer en laag in de herfst.

Bovenstaande voorbeelden tonen aan hoe voorzichtig men moet zijn met het generaliseren van produktiefuncties zonder specifieke veldstudies met verschillende gewastypen en variëteiten.

Uit het eerdergenoemde onderzoek van Stewart et al. (1977) met berekening van mais blijkt dat iedere gift resulteert in een gelijkwaardige produktierespons

tot een zeker maximum is bereikt. Hierna neemt de opbrengst niet meer toe en zelfs af wanneer te veel water is gegeven. De produktieplafonds geven de hoeveelheid beregeningswater aan waarboven geen bijdrage meer aan de evapotranspiratie wordt geleverd. De convexe (bolle) vormen van deze produktiefuncties zijn typerend voor deze wijze van grafische voorstelling (Fig. 2.10). Wanneer alle water voor verdamping wordt gebruikt, dat wil zeggen wanneer er 100% irrigatie-efficiëntie is, dan worden de eerdergenoemde lineaire produktie-evapotranspiratie relaties benaderd. Wordt meer water gegeven dan voor verdamping nodig is, dan gaat een deel verloren door wegzijging naar de ondergrond of een hoeveelheid water zal achterblijven in de bodem wanneer het gewas geogst wordt.

Figuur 2.10. Droge stof- en korrelopbrengst van mais in Davis in 1974 als functie van de hoeveelheid toegediend water, inclusief de natuurlijke neerslag gedurende het groeiseizoen (naar Stewart et al., 1977).

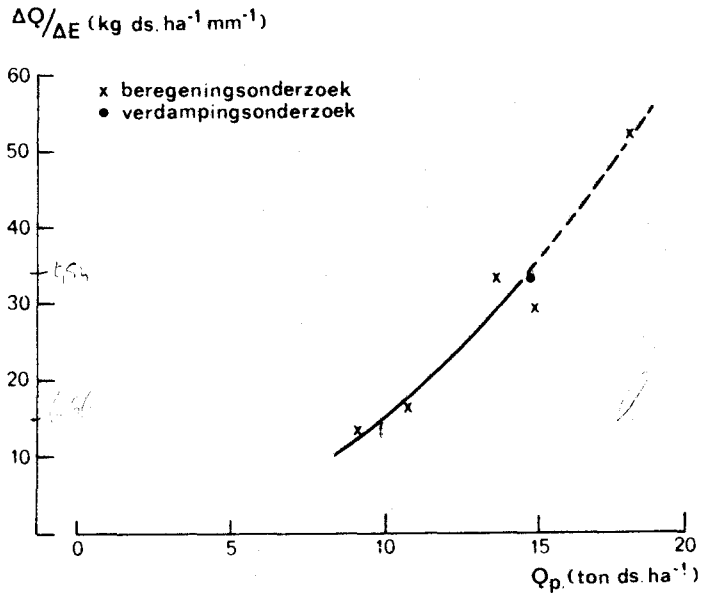


Resultaten van Nederlandse beregeningsproeven en lysimeterproeven aan gras (zie onder andere Rijtema, 1965) zijn uitvoerig beschreven door Van Boheemen (1981). Hieruit (Fig. 2.11.) kan worden geconcludeerd dat het effect van een verbeterde watervoorziening groter is naarmate het ("bruto") potentiële 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. ha⁻¹. mm⁻¹, afhankelijk van het potentieel te bereiken opbrengstniveau.

Figuur 2.11.

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)

Omgekeerd afnemende verd. bij toenemende evapotranspiratie.



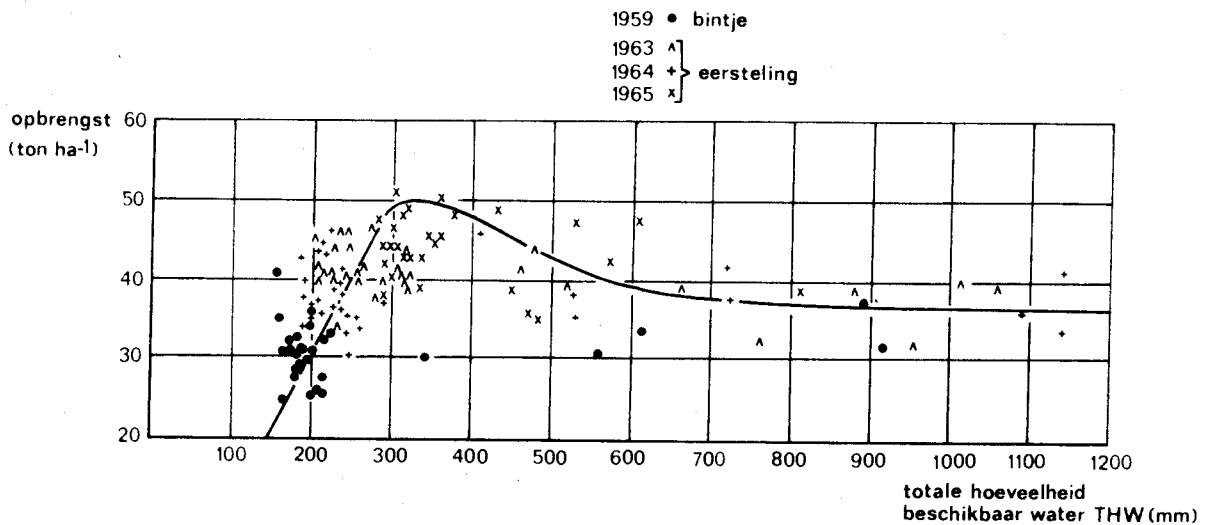
Bij een ("bruto") potentieel produktieniveau van bijvoorbeeld 15 ton droge stof per ha levert 1 mm water zo'n 33 kg ds. ha⁻¹. Genoemde auteur komt verder tot de conclusie dat de effecten van beregening over de diverse perioden van het groeiseizoen niet duidelijk van elkaar verschillen. Door het Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding (ICW) en het Proefstation voor de Rundveehouderij (PR) wordt momenteel, 1983, verder beregeningsonderzoek aan gras verricht op het proefveld Heino.

Door Hellings (1980) zijn de beregeningseffecten bij de belangrijkste akkerbouwgewassen beschreven. Gewassen die goed te onderscheiden ontwikkelingsstadia doorlopen, zoals granen en aardappelen, blijken erg gevoelig te zijn voor het moment waarop droogte zich voordoet (bij aardappelen het tijdstip van knolvorming, bij granen het schieten en de bloei). Bij vegetatief producerende gewassen zoals suikerbieten is dit minder het geval. Ook bij akkerbouwgewassen verschillen de effecten van beregening van jaar tot jaar.

Dezelfde soort verbanden als bij beregening krijgen we als we de droge stofproduktie bijvoorbeeld uitzetten tegen de totale hoeveelheid beschikbaar water. Deze hoeveelheid (THW) kan worden gedefinieerd als de som van de hoeveelheid bodemwater (BW) plus de neerslag (N) plus de irrigatiegift (I) plus de capillaire opstijging (C) uit het grondwater. Een voorbeeld hiervan wordt gegeven

door Rijtema (1969). Deze zet de droge stofproduktie van gras uit tegen de ('maximale') hoeveelheid water (THW) die beschikbaar is gedurende het groeiseizoen voor onder andere het jaar 1960 voor verschillende profielen en grondwaterstandsdiepten. Hierbij definieert hij voor BW dat de wortelzone vanaf veldcapaciteit tot $pF = 4,2$ mag uitdrogen en voor C dat de onderkant van de wortelzone gemiddeld op $pF = 3$ wordt gehouden. Feddes (1971) bepaalde de hoeveelheid bodemwater (B) die in een groeiperiode voor de verdamping beschikbaar is voor verschillende gewassen door uit te gaan van een voor maximale produktie toelaatbare uitdrogingswaarde in de wortelzone van $pF = 2,6$. Voor de berekening van C ging hij uit van een gemiddelde $pF = 2,35$ aan de onderkant van de wortelzone. In figuur 2.12. is een voorbeeld gegeven voor aardappelen. Het blijkt dat voor een maximale opbrengst een hoeveelheid water van 300-350 mm nodig is.

Figuur 2.12 Relatie tussen de vers gewichtopbrengst en de totale hoeveelheid beschikbaar water voor aardappelen (naar Feddes, 1971).



Uit deze geciteerde onderzoeken blijkt dat hoewel THW zeer verschillend gedefinieerd wordt, gelijkvormige reacties worden waargenomen: links van de optimale THW is er watertekort, rechts ervan wateroverlast, resulterend in zuurstofgebrek in de wortelzone.

Bovenstaande beschouwingen mogen duidelijk maken dat er essentiële verschillen bestaan tussen het uitzetten van opbrengst versus evapotranspiratie of opbrengst versus 'beschikbaar water' (in de ruimste zin van het woord). Alleen wanneer al

het water echt gebruikt wordt voor verdamping, dan zullen beide relaties elkaar benaderen. In de praktijk wordt verdamping vaak uit de waterbalans geschat. Men dient er dan rekening mee te houden dat fouten van 10 à 20% geen uitzondering zijn.

Wat betreft het bepalen van de 'effectieve' beregeningsgift, dat wil zeggen de hoeveelheid water die het gewas ten goede komt, moet vaak een zeer ruwe schatting voor percolatieverliezen naar de ondergrond worden gemaakt. Fouten hierin werken direct door in de kilogrammen droge stof die per mm regengift kunnen worden gehaald en zo in beschouwingen over het economisch rendement van beregening.

2.4.3. Droogteschadematrixes

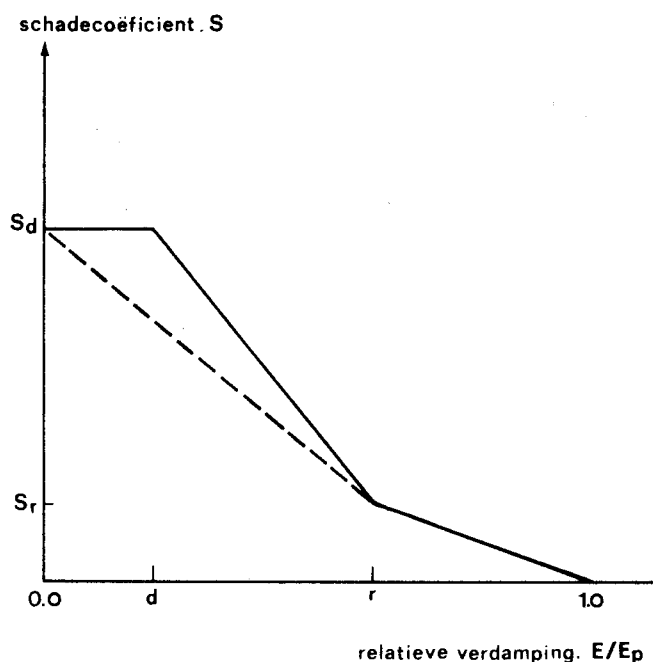
Door Abrahamse et al. (1982) is in het kader van de PAWN studie een methode aangegeven om schade door droogte te kunnen bepalen. Deze methode vormt een integraal onderdeel van het model DEMGEN (zie ook 2.2.2.). Er wordt hierbij van uitgegaan dat de in een bepaalde tijdstap (decade of soms een maand) optredende droogteschade een functie is van de relatieve evapotranspiratie, E/E_p , die gedurende deze tijdstap optreedt.

De algemene vorm van deze functie is weergegeven in figuur 2.13. 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 2.13) vertonen in principe wel een variatie in de tijd.

In het kader van de PAWN studie is bij alle gewassen voor r een waarde 0,6 aangehouden. De schadecoëfficiënt S_r varieert afhankelijk van het gewasstype en het ontwikkelingsstadium van het gewas van 0 tot 0,08.

Voor de parameter d werd in eerste instantie, uitgaande van tijdstappen van een maand, een waarde gehanteerd van 0,2. De schadecoëfficiënt S_d werd op 1,0 gesteld. Het gebruik van deze waarden bij tijdstappen van een decade bleek evenwel tot veel te grote schades te leiden. Voor berekeningen op basis van decaden werd voor alle gewassen en voor alle tijdstappen uiteindelijk $d=0$ en $S_d=0,7$ gesteld.

Figuur 2.13. Schematisch verloop van de schadecoëfficiënt als functie van de relatieve verdamping (getrokken lijn) en het voor de berekeningen gehanteerde verloop (onderbroken lijn) (naar Abrahamse et al., 1982).



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 . Voor de eerste tijdstap waarvoor de schadecoëfficiënt $S \neq 0$ wordt de schade gesteld op $S \times Q_p$, en wordt tegelijkertijd het verwachte opbrengstniveau gereduceerd tot $(1-S) \times Q_p$. Dit vormt dan de basis waarmee de eerstvolgende schade wordt bepaald. Op dat moment wordt het basis-opbrengstniveau weer aangepast, enz.

Bij deze benadering wordt ervan uitgegaan dat in elke decade het gewas zo zwaar door droogte kan worden getroffen 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 de laatstbedoelde fase is in de regel een deel van de eerder plaatsgevonden gewasproductie in een oogstbare vorm aanwezig of voordien reeds geoogst en dat deel kan dan niet meer door droogte verloren gaan. In de PAWN studie is dit aspect 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 bovenomschreven methode kan in formule als volgt worden weergegeven:

$$Q_a = (1 - S_1 q_1) (1 - S_2 q_2) \dots (1 - S_n q_n) Q_p \quad (7)$$

- waarbij: Q_a = actuele seizoenopbrengst in $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$
 Q_p = potentiële seizoenopbrengst in $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$
 S_i = schadecoëfficiënt in decade i
 q_i = fractie van de potentiële seizoenopbrengst die maximaal in decade i door droogte verloren kan gaan
 n = aantal decaden binnen het groeiseizoen.

De methode is praktisch nog niet getoetst aan actuele veldgegevens, dus enige voorzichtigheid in toepassing ervan is geboden. Men dient er op bedacht te zijn dat zowel fouten in de bepaling van E/E_p als in de aangenomen waarden voor de beschrijving van de functie van figuur 2.13 op het uiteindelijke resultaat kunnen doorwerken. Van Boheemen (1982) stelt op grond van evapotranspiratie- en vochttekortberekeningen aan consumptieaardappelen en zich baserend op produktieverg. (9) dat de opbrengstdervingen die bepaald zijn met figuur 2.13. circa een factor 1,7. te groot zijn. De methode wordt in het kader van de vervolgstudie PAWN II nader getoetst en bijgesteld aan de hand van actuele veldgegevens. Dit geschiedt door toepassing van het model DEMGEN op proefvelden van het ICW.

2.4.4. Fysisch georiënteerde produktiemodellen

Uit de hier aangehaalde veldproeven blijkt dat niet altijd even eenduidige verbanden tussen opbrengst en watergebruik kunnen worden gehaald. Teneinde meer systematiek in een en ander te brengen kunnen we het beste uitgaan van modellen die een fysische achtergrond hebben. Dat zijn de volgende.

Produktie - transpiratiemodel

Groeisnelheid en produktie worden hier evenredig gesteld met de hoeveelheid water gebruikt door het gewas, ofwel de transpiratie gesommeerd over het groeiseizoen.

$$Q = A_1 E_t \quad (8)$$

waarin de produktie Q in $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ en de cumulatieve transpiratie E_t in mm. Dit levert voor A_1 eenheden van $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1}$.

De Wit (1958) vond dat verg. (8) geldt voor gematigde klimaten. Stanhill (1960) heeft laten zien dat voor gras de helling A_1 afhangt van het klimaat en dat deze zich wijzigt met de breedtegraad.

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, bodemverdamping en interceptie, de evapotranspiratie, E , bepaald. We krijgen dan analoog aan vergelijking (8) de relatie:

$$Q = A_2 E \quad (9)$$

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. Voor voorbeelden van relaties zie, behalve de reeds genoemde literatuur, Rijtema en Aboukhaled (1975), Feddes (1979, 1982), Verheijen en Steenvoorden (1981).

Produktie - transpiratie/dampdrukdeficit

Aangezien produktie - transpiratie relaties verschillend lijken te zijn voor humiede en ariede gebieden op dezelfde breedtegraad, hebben Bierhuizen en Slatyer (1965) een relatie voorgesteld waarin het dampdrukdeficit (i.e. verdampingskracht) van de lucht gemiddeld over het groeiseizoen is opgenomen. Deze relatie kan worden geschreven als:

$$Q = A \frac{E_t}{\overline{\Delta e}} \quad (10)$$

waarin Q de dimensie heeft van $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, E_t van mm, Δe van mbar en A dus van $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1} \cdot \text{mbar}$. Streken die een verschillende Δe vertonen zullen verschillende waarden voor Q geven bij dezelfde E_t . Voor een aantal waarden van A voor diverse gewassen, zie tabel 5 van Feddes et al. (1978), voor aardappelen zie Nieuwenhuis en Palland (1982) en Hellings et al. (1982).

Door Rijtema (1969) is verg. (10) toegepast op grasgegevens, verkregen met behulp van lysimeters. Hij vindt enigszins kromlijnige (concave) verbanden. Een illustratie hiervan is gegeven in figuur 2.14A. Rijtema en Endrödi (1970) laten voor totale droge stofproducties van aardappelen over verschillende jaren zien dat door toepassing van een vergelijking van het type (10) verschillen in opbrengst als gevolg van meteorologische verschillen gedurende de diverse jaren worden weggewerkt. Door Feddes (1971) zijn opbrengsten van rode kool, stamslabonen en selderij volgens verg. (10) geanalyseerd. Door Slabbers et al. (1979) wordt gesuggereerd dat de helling A verschilt voor verschillende klimaatsomstandigheden. Dit zou inhouden dat A voor een droog jaar hoger is dan voor een nat jaar. Deze tendens komt ook tot uiting in de beregeningsproeven van Hellings et al. (1982). Vaststelling van de A-waarde per gewas, per groeistadium en per jaar blijft voorlopig een moeilijke zaak.

Door Feddes et al. (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 transpiratie snelheid gedeeld door het verzadigingsdeficit van de lucht, $E_t / \Delta e$;
- de watergebruiks efficiëncy factor, A en
- de berekende potentiële groeisnelheid q_p op de bewuste dag. Voor de vaststelling van deze term zie onder andere De Wit (1965), Feddes et al. (1978) en Goudriaan en Van Laar (1978).

De vergelijking luidt:

$$\left(1 - \frac{q}{A \frac{E_t}{\Delta e}} \right) \left(1 - \frac{q}{q_p} \right) = \xi \quad (11)$$

waarin ξ is een mathematische constante die dichtbij nul ligt ($\xi \approx 0.01$).

De uiteindelijke totale droge stofproductie wordt dan bepaald door de dagelijkse produktiehoeveelheden over het groeiseizoen te sommeren.

Bij het model CROPR wordt verondersteld dat de gewasontwikkeling in de tijd bij benadering bekend is. Het meest juiste zou zijn de gewasontwikkeling in afhankelijkheid van optredende watertekorten zelf te laten genereren als functie van de tijd. Een eerste aanzet hiertoe is gegeven door Feddes en Wesseling (1984) die de programma's SWATRE en CROPR tot één programma (SWACRO) hebben samengebracht voor de belangrijkste landbouwgewassen.

Relatieve produktie - relatieve transpiratie

Analoog aan verg (8) kan men de potentiële produktie Q_p ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) schrijven als een functie van de potentiële transpiratie gecumuleerd over het groeiseizoen, E_{tp} (mm):

$$Q_p = A E_{tp} \quad (12)$$

Deling van verg. (8) door verg. (12) geeft de relatieve produktie versus de relatieve transpiratie:

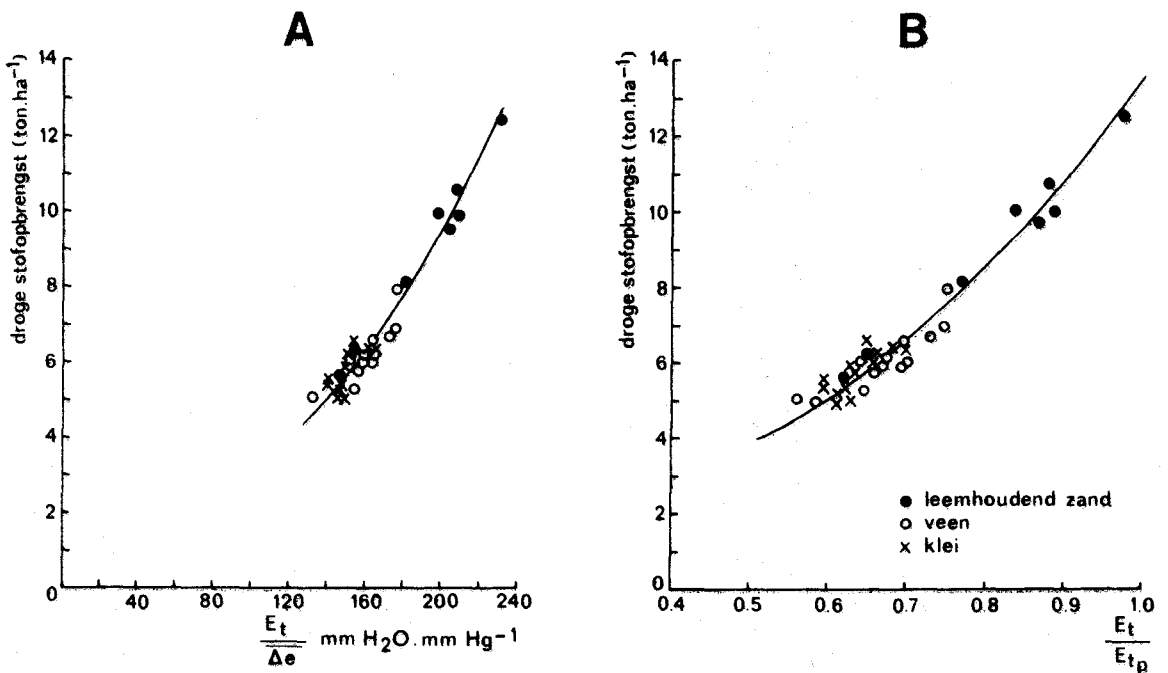
$$\frac{Q}{Q_p} = \frac{E_t}{E_{tp}} \quad (13)$$

Het voordeel van het gebruik van een dergelijke dimensieloze vergelijking als (13) is dat verschillen tussen jaren met verschillende produktie- en verdampingsniveaus worden weggewerkt. Hanks en Stewart et al. (1978) rapporteren goede resultaten met verg. (13) voor droge stof- en graanprodukties van mais.

Door Rijtema (1971) zijn de resultaten met gras voor het zeer droge jaar 1959 volgens verg. (10), zoals weergegeven in figuur 2.14A, omgewerkt tot een relatie van het type verg. (13) en gepresenteerd in fig. 2.14B.

Figuur 2.14A De relatie tussen de droge stofopbrengst van gras en de verhouding totale transpiratie/gemiddeld verzadigingsdeficiet van de lucht, verg. (10), zoals verkregen op een 3-tal verschillende bodemprofielen voor een periode van 150 dagen in het zeer droge jaar 1959 (naar Rijtema, 1969 a).

Figuur 2.14B Als figuur 2.14A maar nu uitgezet tegen de verhouding totale werkelijke transpiratie/totale potentiële transpiratie, verg. (13), (naar Rijtema, 1971).



De CoGroWa maakt van de volgende variant van verg. (13) gebruik om de potentiële produktie van grasland in een bepaald jaar te kunnen berekenen:

$$Q_{p(i)} = \frac{E_{p(i)}}{\bar{E}_p} \bar{Q}_p \quad (14)$$

waarin:

$Q_{p(i)}$ = potentiële produktie (kg ds.ha⁻¹) in jaar i.

\bar{Q}_p = gemiddelde potentiële produktie (kg ds.ha⁻¹) (zie tabel 13).

$E_{p(i)}$ = potentiële verdamping (mm) in jaar i.

\bar{E}_p = potentiële verdamping (mm) gemiddeld over een periode van 30 aanéengesloten jaren.

Het gemiddelde potentiële produktieniveau is sterk afhankelijk van groeifactoren anders dan water en van bedrijfstechnische factoren zoals veebezetting, maai- en weideschema, bemesting, graslandverzorging etc. Voor schadeberekeningen wordt op basis van proefveldgegevens thans een gemiddeld potentieel produktieniveau, \bar{Q}_p , van 13.500 kg.ds.ha⁻¹ gehanteerd. Voor berekening van reeds geleden schade in voorgaande jaren wordt uitgegaan van de in tabel 13 weergegeven gemiddelde potentiële produktieniveaus. Hierbij is rekening gehouden met de trendmatige ontwikkelingen in de bedrijfsvoering, bemesting etc.

Tabel 13. Gemiddeld bruto potentieel produktieniveau van grasland, \bar{Q}_p , voor verschillende perioden.

Perioden	\bar{Q}_p (kg.ds.ha ⁻¹)
1963 t/m 1967	12.000
1968 t/m 1972	12.500
1973 t/m 1979	13.000
1980 t/m	13.500

Relatieve produktie - relatieve evapotranspiratie

Dit model gaat uit van de grootst mogelijke produktie bij ieder evapotranspiratieniveau, variërend van $Q = Q_p$ bij $E = E_p$ (de oorsprong van de functie) en lineair afnemend voor $E < E_p$. Dit model is in de USA bekend als Stewart's model. Het lineaire verband met E geldt zowel voor totale droge stofproduktie als bijvoorbeeld graanopbrengst wanneer water tenminste de limiterende faktor is. De vergelijking luidt (Stewart et al., 1977):

$$\left(1 - \frac{Q}{Q_p} \right) = \beta \left(1 - \frac{E}{E_p} \right) \quad (15)$$

waarin β de dimensieloze helling is, die de afname in Q bepaald per eenheid afname in E over het gehele groeiseizoen. In enigszins omgewerkte vorm, die direct te relateren is aan figuur 2.9., luidt verg. (15):

$$Q = Q_p - \beta \left(\frac{E_p - E}{E_p} \right) Q_p \quad (15a)$$

Stewart e.a. (1977) vonden voor mais β -waarden variërend van 0,92 tot 1,29 voor de totale droge stofproduktie en van 1,03 tot 1,72 voor de graanproduktie. Een voordeel van het gebruik van een formulering als verg. (15) is dat men het begrip evapotranspiratie gebruikt en dus geen scheiding hoeft te maken tussen transpiratie en evaporatie.

Opmerking: De potentiële gewasproduktie, Q_p kan in principe theoretisch worden berekend, zoals aangeduid. Voor het geval dat men in een bepaald gebied en jaar hierover niet de beschikking heeft, zou bij benadering van de hoogst gevonden gewasopbrengst in het betreffende jaar en gebied kunnen worden uitgegaan. Deze opbrengst kan worden beschouwd als de "praktisch" potentiële opbrengst.

2.5. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

- Ter verkrijging van een eerste indruk van opbrengstdepressies voor grasland op zandgronden als gevolg van grondwateronttrekking kan van de empirische methode van Grotentraast (1976) worden uitgegaan.
- Voor het berekenen van capillaire stijghoogten in homogene dan wel gelaagde bodemprofielen kunnen diverse ter beschikking staande operationele computerprogramma's worden gebruikt. Deze programma's zijn ook zeer bruikbaar om het effect van een afwijkende bodemlaag op de capillaire opstijging te evalueren. De hydrologische schematisering van de ondergrond wordt hiermee vergemakkelijkt.
- Voor berekening van vochttekorten kunnen zowel pseudo-stationaire modellen als niet-stationaire modellen worden gebruikt. Bij de eerste categorie wordt vaak gerekend in perioden van 10 dagen, in de tweede categorie met perioden van ≤ 1 dag. Bij de pseudo-stationaire modellen is daardoor minder invoer en rekentijd nodig.
- De pseudo-stationaire modellen gaan in principe uit van niet "te diepe" grondwaterstanden, waarbij via de capillaire opstijging een directe relatie met de verdamping wordt gelegd. Men dient voorzichtig te zijn met toepassingen waar andere condities gelden.
- Toetsing van de verschillende categorieën modellen aan veldgegevens kan duidelijkheid opleveren wanneer een pseudo-stationair model wel dan niet meer mag worden gebruikt. (Het Technisch Secretariaat van de CoGroWa maakt bij schadeberekeningen gebruik van het pseudo-stationaire model LAMOS).
- Het is in het algemeen noodzakelijk dat goed gedocumenteerde versies van modellen ter beschikking van de gebruiker komen.
- Voor bepaling van de vocht karakteristiek (pF-curve) van een grond kan gebruik worden gemaakt van meetgegevens. Voor zand- en veenkoloniale gronden zijn door Krabbenborg et al. (1983) en voor rivier- en zeekleigronden door Poelman en Van Egmond (1979) benaderende relaties ontwikkeld.

- Voor vaststelling van het capillair geleidingsvermogen wordt veelal gebruik gemaakt van de door Rijtema (1969) gegeven en door De Laat (Awater en De Laat, 1978) aangevulde reeks "standaard"gronden, dan wel van $K(h)$ relaties berekend volgens de methode Bloemen (1980, 1982). Voor kleigronden is de laatstgenoemde methode nog in onderzoek.

- In principe kan voor de $K(h)$ relatie het beste worden uitgegaan van metingen in het veld dan wel in het laboratorium. (Voor een overzicht van meetmethoden zie Verlinden en Bouma, 1983).
Zolang er echter nog niet een voldoende representatief archief van gemeten/berekende $K(h)$ relaties is opgezet, zal men van bovengenoemde methoden gebruik moeten maken.

- Toetsing van de berekende of gemeten $K(h)$ relaties door middel van simulatie berekeningen in combinatie met veldmetingen heeft tot nog toe in onvoldoende mate plaatsgevonden.

- Invoer in modellen van meteorologische grootheden van zogenaamde "statistische" jaren wordt sterk ontraden. In vergelijking met het gebruik van "werkelijke" jaren worden dan te lage vochttekorten berekend.

- Om uit een oogpunt van vochttekorten de droogtegraad van een bepaald jaar te karakteriseren is de maximale toename van het cumulatieve verdampingsoverschot in het groeiseizoen/zomerhalfjaar op basis van decadegegevens een goede grootheid.

- Bij onverzadigde stromingsmodellen kan de randvoorwaarde aan de onderzijde van het systeem worden weergegeven met een relatie tussen basisafvoer en grondwaterstand. Deze relatie kan met behulp van het model LAMOS aan de hand van een bekend grondwaterstandsverloop of een verloop dat af te leiden is uit de grondwatertrap iteratief worden vastgesteld. Als uitgangspunt kunnen hierbij de door Ernst en Feddes (1979) gegeven relaties dienen. Op basis van deze relatie en de werkelijke meteorologische omstandigheden kunnen dan de vochttekorten en het grondwaterstandsverloop per jaar worden berekend.

- Bij schadeberekeningen wordt voor de berekening van de vochttekorten in verlaagde situatie(s) meestal uitgegaan van de voor de uitgangssituatie berekende grondwaterstanden, nadat deze zijn gecorrigeerd voor de onttrekkingsinvloed. Het aldus vastgestelde grondwaterstandsverloop wordt dan als randvoorwaarde aan de onderzijde van het systeem in het model ingevoerd.
- Met het quasi-3-dimensionale model GELGAM kunnen zeer gedetailleerd hydrologische grootheden als functie van tijd en plaats worden berekend. Met dit model kan vooral worden nagegaan in hoeverre hydrologische berekeningen kunnen worden vereenvoudigd.
- Om effecten van berekening uit het grondwater op de omgeving na te gaan kan behalve van GELGAM gebruik worden gemaakt van een losgekoppelde benadering voor de verzadigde en de onverzadigde grondwaterstroming, zoals beschreven door Van Lanen (1983 b).
- Ter bepaling van opbrengstdepressies van gewassen als gevolg van vochttekorten kan men gebruik maken van verschillende formules. Eenvoudige en praktisch uitvoerbare relaties zijn geformuleerd in respectievelijk verg. (10), verg. (13) en verg. (14).
Voor evaluatie van het effect van vochttekorten op de produktie van gras kan worden uitgegaan van het verband gegeven in figuur 2.11, dat ontleend is aan langjarige veldproeven.
Het potentiële produktieniveau in een bepaald jaar kan worden berekend op basis van verg. (14) en de in tabel 13 gegeven waarden voor het gemiddelde potentiële produktieniveau.

dingsverliezen sterk toe terwijl de kwaliteit van de graszode wordt geschaad. Schothorst (1963) berekende dat bij verbetering van de draagkracht bij een gelijkblijvende bruto-grasproduktie, een verhoging van de netto-produktie van 15 à 20% verwacht mag worden.

De schade door onvoldoende draagkracht is echter sterk afhankelijk van de bedrijfsvoering en van de bedrijfsomstandigheden. In veel gevallen kunnen de opbrengstverliezen worden beperkt door bedrijfstechnische maatregelen. Gedacht kan hierbij worden aan aangepaste methoden van ruwvoederwinning en aanpassing van het beweidingssysteem. Met name in de zandgebieden kunnen, indien de bedrijven naast laag gelegen (natte) gronden ook de beschikking hebben over hogere gronden, de nadelige effecten van onvoldoende draagkracht 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.

Bewerkbaarheid

Als gevolg van de sterke intensivering en mechanisering welke in de laatste decennia heeft plaatsgevonden (en nog steeds plaatsvindt) worden hoge eisen aan de bewerkbaarheid gesteld. Door onvoldoende bewerkbaarheid kunnen de noodzakelijke voorjaarswerkzaamheden (grondbewerking, kunstmeststrooien, zaaien en poten) niet tijdig uitgevoerd worden waardoor reeds in het begin van het groeiseizoen een belangrijke groei-achterstand optreedt, hetgeen een belangrijke opbrengstderiving tot gevolg kan hebben.

Wind (1960) concludeerde op grond van literatuuronderzoek dat door te laat zaaien opbrengstdepressies in de orde van grootte van 0,5 à 1% per dag op kunnen treden.

In het najaar kunnen als gevolg van onvoldoende bewerkbaarheid problemen bij de oogst (aardappelen, bieten, mais) optreden. Bij suikerbieten heeft te vroeg oogsten een reductie van zowel het suikergehalte als van de gewasopbrengst tot gevolg.

Door Beuving (1982) zijn voor een aantal bodemtypen de grenswaarden voor de drukhoogte aangegeven waarbij in de praktijk de grond geschikt geoordeeld wordt voor het zaaien van bieten of het poten van aardappelen. Op veldpodzolgronden

werd de bewerkbaarheid goed beoordeeld bij een drukhoogte op 5 cm diepte in de bouwvoor < - 70 cm (vochtspanning > 70 cm) en bij zandgronden met een veenkoloniaal dek bij een drukhoogte < - 40 à - 50 cm. Op kalkrijke zavel- en kleigronden werd aan de grond een goede bewerkbaarheid toegekend bij grenswaarden die gemiddeld wat lager liggen dan bij de zandgronden. De aangegeven grensvoorwaarden lopen uiteen van ca. - 60 cm bij zware kleigrond tot - 90 à - 110 cm bij lichte zavel en lichte en matig zware kleigronden. Aangetekend dient te worden dat de beoordeling 'goed bewerkbaar' op een zware kleigrond een andere inhoud heeft dan bijvoorbeeld op een zavelgrond. Een lagere (dus drogere) grenswaarde wil niet persé zeggen dat de betreffende grond in het voorjaar ook later bewerkbaar is. Dat hangt af van de eigenschappen van de grond en de ontwatering.

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 en treedt zuurstofgebrek op. Als gevolg hiervan wordt de ademhaling gereduceerd, de weerstand voor het transport van water en voedingsstoffen in de plant wordt verhoogd en er kunnen giftige bestanddelen worden gevormd. Bij ernstige wateroverlast kunnen de wortels geen water meer opnemen en sterven af. 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 beperkt met als gevolg een niet optimale ontwikkeling van het gewas.

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 in het voorjaar met name bij wintergranen en bij de beginontwikkeling van zomergewassen na de opkomst.

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 hoge 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. Verslemping kan een ernstige schade aan met name wintergranen en een slechte opkomst van zomergewassen tot gevolg hebben.

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 zijn uitvoerig beschreven door Boekel (1973). Op sterk slempgevoelige gronden kunnen bij onvoldoende ontwatering opbrengstdervingen in de orde van grootte van 20 à 30% optreden.

3.3. METHODEN TER BEPALING VAN DE OPBRENGSTDEPRESSIE

3.3.1. Empirische methoden

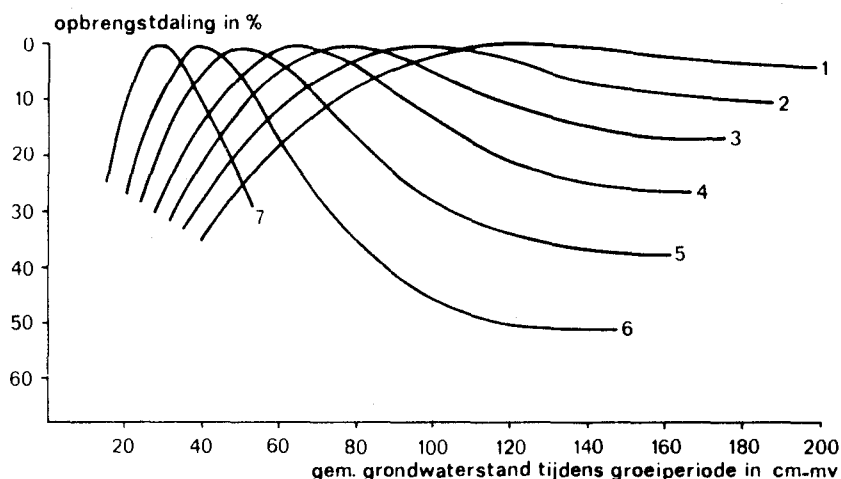
COLN-isocarpen

In het kader van het COLN-onderzoek¹) zijn door Visser (1958) de zgn. isocarpen diagrammen ontworpen om de invloed van de waterhuishouding op de produktie weer te geven. De bodemeenheden voorkomend op de Nederlandse Bodemkaart (NeBokaart)

¹ COLN = Commissie Onderzoek Landbouwwaterhuishouding Nederland

schaal 1:200.000 zijn hierbij ingedeeld in een 7-tal profielgroepen. Per profielgroep zijn zowel voor bouwland als voor grasland de opbrengstdepressies weergegeven in afhankelijkheid van de gemiddelde zomergrondwaterstand en de gemiddelde wintergrondwaterstand. De isocarpen diagrammen zijn samengesteld aan de hand van empirisch vastgestelde opbrengst-ontwateringsdiepte curven (Fig. 3.1.) en bewerking van het waarnemingsmateriaal van het Produktieniveau Onderzoek, verricht door het voormalige Centraal Instituut voor Landbouwkundig Onderzoek (CILO). De COLN-isocarpen dragen dientengevolge een sterk empirisch karakter.

Figuur 3.1 Relatie opbrengstdaling - grondwaterstand voor een 7-tal profielgroepen (Visser, 1958)



Door de schaalvergroting in de landbouw en de hiermee samenhangende sterk toegenomen mechanisering zijn de normen ten aanzien van de optimale ontwatering de laatste decennia echter aanzienlijk gewijzigd. De COLN-isocarpen stemmen hierdoor niet overeen met de huidige inzichten omtrent de opbrengstdepressies als gevolg van wateroverlast. Bovendien sluit de indeling in profielgroepen niet aan op het huidige systeem van bodemclassificatie.

Proefveldonderzoek

Onder andere door Boekel en door Sieben is onderzoek verricht naar de invloed van hoge grondwaterstanden op de opbrengst van een aantal akkerbouwgewassen op zavel- en kleigronden. Boekel (1973) berekende op basis van verschillende proefveldresultaten voor aardappelen, bieten en granen de gemiddelde opbrengstdepressie bij verschillende wintergrondwaterstanden op zavel- en kleigronden. De ver-

schillende 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-waarden. Hieronder wordt verstaan de som van de overschrijdingen van een bepaald grondwaterstands niveau gedurende de winterperiode (1 november - 1 maart) uitgaande van dagelijkse waarnemingen.

Arbitrair werd door de auteur een niveau van 30 cm beneden maaiveld als grensniveau gehanteerd (SOW_{30}). Uit correlatieberekeningen bleek echter dat er in de meeste jaren een tamelijk hoge correlatie bestaat tussen de som der overschrijdingen boven 10, 20, 30 en 40 cm beneden maaiveld. Op grond hiervan wordt geconcludeerd dat het er niet toe doet of men een grensniveau van 10, 20, 30 of 40 cm onder maaiveld aanneemt om de ontwateringssituatie te karakteriseren. 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.

Op zandgronden is relatief weinig onderzoek verricht naar de invloed van een onvoldoende ontwatering op de opbrengst van akkerbouwgewassen.

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 (Fig. 3.2.) kon het verband tussen deze gemiddelde grondwaterstand en de opbrengstdaling van de 1e + 2e snede worden vastgelegd (Fig. 3.3). Hierbij zijn drie bemestingsniveaus onderscheiden. De opbrengstdaling is geringer naarmate het bemestingsniveau hoger is.

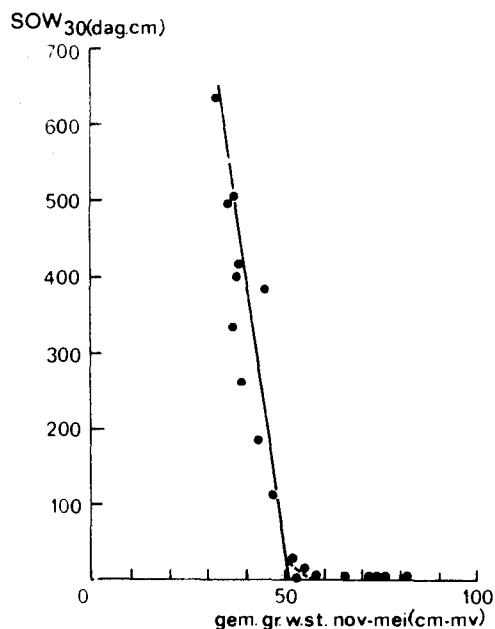
Schothorst (1980) onderzocht op basis van een groot aantal proefveldgegevens het effect van ontwatering in diverse weidegebieden op de voorjaarsproductie. Op grond hiervan concludeerde hij dat bij een goede ontwatering, zowel bij zand-, veen- en kleigronden, het tijdstip waarop een weidesnede beschikbaar was gemiddeld 4 dagen eerder werd bereikt dan bij een onvoldoende ontwatering.

Het onderzoek naar het effect van ontwatering van grasland heeft zich in het verleden hoofdzakelijk gericht op de bruto grasproductie.

Naast het effect op de bruto-productie is bij gras vooral de invloed van de wa-

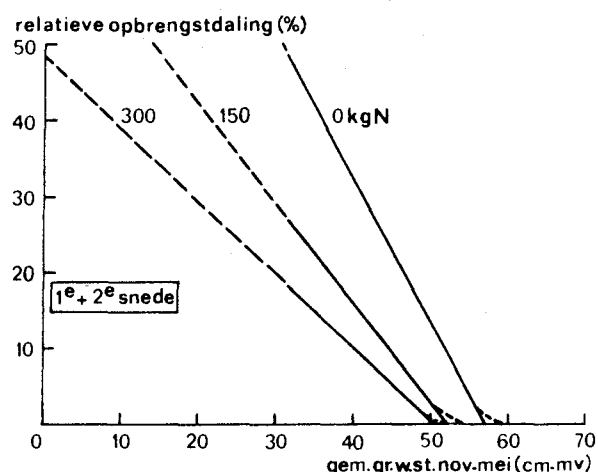
Figuur 3.2

Relatie SOW_{30} en de gemiddelde grondwaterstand van november-mei voor de veengrond te Bleskensgraaf (naar Van Wijk en Feddes, 1975)



Figuur 3.3.

Relatieve opbrengstdaling van de 1e + 2e snede in afhankelijkheid van de gemiddelde grondwaterstand van nov.-mei bij stikstofgiften van 0, 150 en 300 kg.ha⁻¹ (naar Van Wijk en Feddes, 1975)

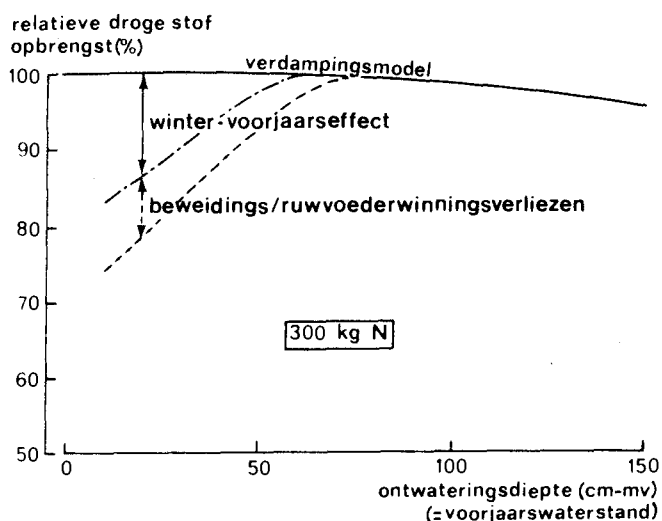


terhuishoudkundige situatie op de netto-productie van belang. Hierbij spelen echter vele externe factoren een rol zoals veebezetting, beweidingssysteem, graslandverzorging etc. Bovendien worden bij onvoldoende ontwatering kwalitatief hoog gewaardeerde grassen als bv. Engels raaigras verdrongen door vochtminnende soorten met een veelal geringere voedingswaarde. Daarnaast neemt de kans op veeziekten als leverbot, maagdarmworm e.d. bij beweiding op natte gronden toe.

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.

Van Wijk en Feddes (1975) bewerkten de opbrengstgegevens van het ontwateringsproefveld Bleskensgraaf. De resultaten zijn weergegeven in figuur 3.4. De opbrengstreducties door onvoldoende ontwatering zijn hierbij in mindering gebracht

Figuur 3.4. Relatieve droge stofopbrengst van gras op veen als functie van de ontwateringsdiepte in het voorjaar zoals berekend met een verdampingsmodel (—), gecorrigeerd op het nadelige effect van hoge winter- en voorjaarsgrondwaterstanden (-.-.) en op nadelige effecten van hoge grondwaterstanden tijdens het groeiseizoen (beweidings-/ruwvoederwinningsverliezen) (----). (Naar Van Wijk en Feddes, 1975).



op de met een verdampingsmodel berekende relatieve opbrengst. De nadelige effecten van ondiepe ontwatering zijn hierbij gesplitst in een winter- en voorjaarseffect (verlate en tragere hergroei door te late stikstofbemesting, door lage bodemtemperatuur, onvoldoende aëratie, vertraagde stikstofmineralisatie etc.) en beweidings- en ruwvoederwinningsverliezen tijdens het groeiseizoen.

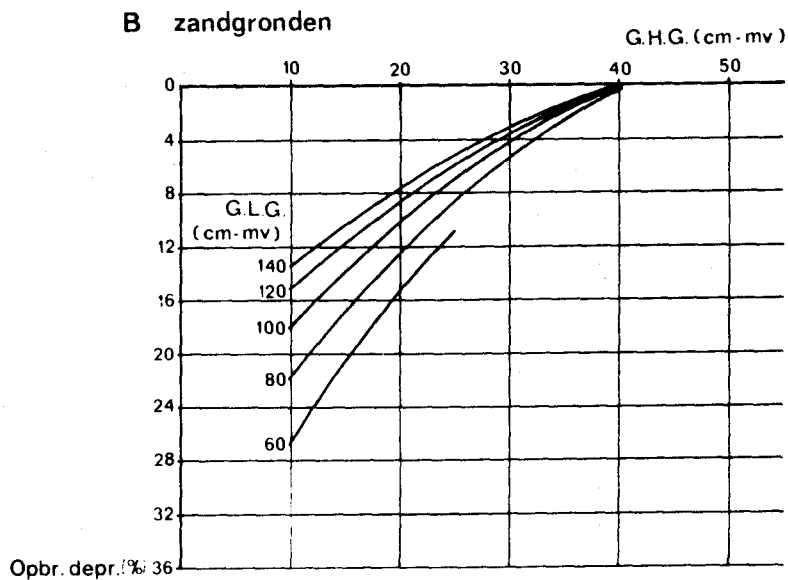
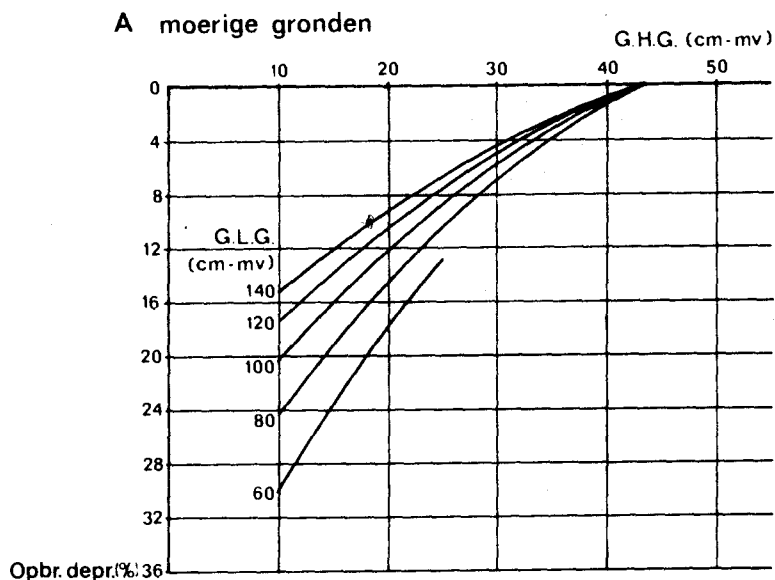
Depressiecurven CoGroWa

Ten behoeve van op te stellen schaderegelingsvoorstellen zijn door het Technisch Secretariaat van de CoGroWa op grond van praktijkinzichten en de in de literatuur vermelde resultaten van proefveldonderzoek, voor zowel grasland als akkerbouw empirische relaties vastgesteld tussen de totale opbrengstdepressie door wateroverlast en de ontwateringssituatie uitgedrukt in termen van GHG en GLG (Fig. 3.5 en 3.6). Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen humeuze zandgronden en zandgronden met een venige of moerige bovengrond.

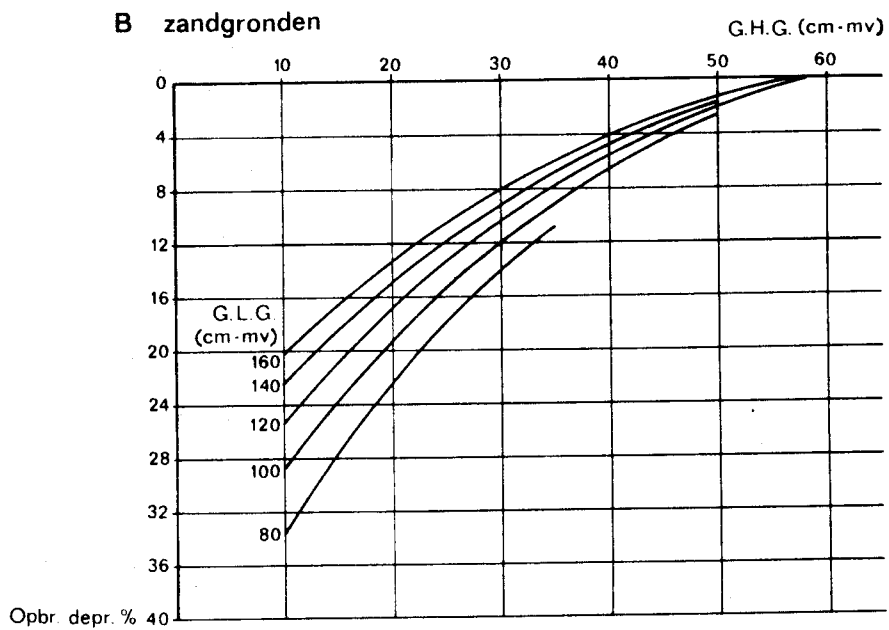
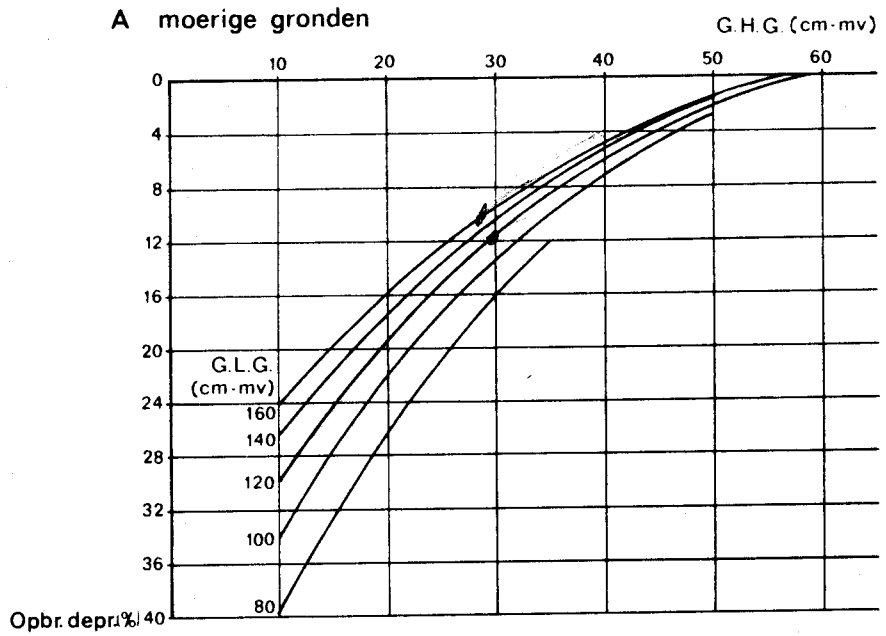
Voor kleigronden en gronden met een kleiïge bovengrond wordt voorlopig aangenomen dat de depressie door wateroverlast gelijk is aan de depressie op moerige gronden.

Zowel voor grasland als voor akkerbouwgewassen is de grondwaterstand in het voorjaar relatief gezien van grote invloed op de opbrengstdepressie door water-

Figuur 3.5 Opbrengstdepressie door wateroverlast voor grasland op moerige gronden (A) en zandgronden (B). (CoGroWa)



Figuur 3.6 Opbrengstdepressie door wateroverlast voor akkerbouwgewassen op moerige gronden (A) en zandgronden (B). (CoGroWa)



overlast. 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. 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 ca. 1,5 m beneden het maaiveld wordt de mate van wateroverlast vrijwel uitsluitend bepaald door de GHG. Behalve door de diepte van het grondwater wordt de mate van wateroverlast ook in sterke mate bepaald door de duur van perioden met te hoge grondwaterstanden. Het gemiddeld aantal dagen per jaar waarmee een bepaald ondiep grondwaterstandsniveau wordt overschreden neemt sterk toe naarmate de GHG ondieper is (zie ook paragraaf 3.4.1, figuur 3.7 en figuur 3.8). Op grond hiervan is voor de in figuur 3.5 en figuur 3.6 gegeven depressiecurven een convex (bol) verloop aangenomen.

De depressiecurven zoals weergegeven in de figuren 3.5 en 3.6 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. Bij schaderegelingen waarbij de opbrengstdepressies jaarlijks vastgesteld worden, dient met deze verschillen rekening te worden gehouden. In 3.4. (basisgegevens voor de berekening van de wateroverlast) wordt nader ingegaan op de benadering van de jaarlijkse opbrengstdepressie door wateroverlast.

Daarnaast dient bij de bepaling van de opbrengstdepressie door wateroverlast rekening te worden gehouden met de mogelijkheid de schade te beperken door bedrijfstechnische maatregelen. Zoals bij de bespreking van de facetten van wateroverlast (3.2) reeds is uiteengezet kunnen met name in zandgebieden de depressies door wateroverlast worden gereduceerd. De mate waarin de depressie door wateroverlast kan worden gereduceerd is onder andere afhankelijk van de verhouding tussen de oppervlakte hoge gronden en de oppervlakte lage gronden per bedrijf en verschilt dientengevolge van bedrijf tot bedrijf. Daarnaast speelt ook de bedrijfsvoering (beweidingsstelsel, veebezetting etc.) een grote rol. Uit praktische overwegingen verdient het aanbeveling bij shadeberekeningen binnen een bepaald gebied één reductiefactor te hanteren gebaseerd op de gemiddelde situatie in het betreffende gebied. Algemene richtlijnen en uitgangspunten

voor het vaststellen van deze reductiefactor zijn thans nog niet te geven aangezien deze nog onderwerp van studie zijn.

Bij tuinbouwgewassen is de opbrengstdepressie door wateroverlast in sterke mate afhankelijk van de aard van de produkten en de bedrijfsvoering. Bij akkerbouwmatige tuinbouw wordt de depressie in voorkomende gevallen gelijk gesteld aan de opbrengstdepressie bij akkerbouw.

HELP-tabellen ¹⁾

Ten behoeve van de evaluatie van landinrichtingsplannen zijn door een hiertoe ingestelde werkgroep voor zowel grasland als bouwland voorlopige tabellen opgesteld waarin voor een groot aantal bodemtypen per Gt-klasse de opbrengstdepressies als gevolg van wateroverlast en als gevolg van vochttekort zijn weergegeven. Deze zogenaamde HELP-tabellen dragen een sterk empirisch karakter. In het kader van het HELP-onderzoek wordt getracht de opbrengstdepressies te berekenen op basis van meer fysisch georiënteerde modellen.

Van Lanen (1981 a) hanteerde voor het vaststellen van de vermindering van de depressie door wateroverlast bij een verlaging van de grondwaterstand o.a. relaties afgeleid uit de voorlopige HELP-tabellen. Hij concludeerde dat de keuze van de empirische methode voor het vaststellen van de opbrengstverhoging door vermindering van wateroverlast grote invloed heeft op de berekende voordelen.

3.3.2. Modelberekeningen

Graslandgebruiksmodel PR

Ten behoeve van het opstellen van beheersregelingen is door het Proefstation voor de Rundveehouderij (PR) een graslandgebruiksmodel (Wieling et al., 1977) ontwikkeld, waarmee de invloed van verschillende aspecten van wateroverlast op de netto-voederwaardeproductie van grasland kan worden berekend. Als basis voor de berekening wordt uitgegaan van de gemiddelde grasgroei per dag in afhankelijkheid van het bemestingsniveau, de graslengte en het tijdstip in het groeiseizoen. Voor een "zelfvoorzienend bedrijf" (d.w.z. geen aankoop van ruwvoer) en een systeem van onbeperkt weiden, werden voor een situatie zonder beperkingen door

¹⁾ HELP = Herziening Evaluatie LandinrichtingsPlannen

wateroverlast (of anderszins) door middel van graslandgebruiksmodellen de in tabel 14 vermelde netto-opbrengsten uitgedrukt in kilogram Voedereenheden Melk (kVEM) berekend.

Tabel 14. Netto kVEM-produktie per ha van een "zelfvoorzienend bedrijf" zonder beperkingen, bij verschillende toegediende N-giften.
(Bron: Technisch-Economische Werkgroep Beheersregelingen, 1981)

kg N/ha	netto kVEM/ha
0	3550
100	5150
200	6425
300	7375
400	8000

Om de invloed van de verschillende aspecten van een onvoldoende ontwatering op de netto-produktie te bepalen werden eveneens graslandgebruiksmodellen opgesteld met beperkingen ten aanzien van: het tijdstip waarop de grasgroei in het voorjaar op gang komt, de lengte van de periode waarin het grasland kan worden beweid, de lengte van de periode gedurende welke het gemaaide gras bij voederwinning op het veld ligt en de mate waarin er bij beweiding verliezen optreden door vertrapping. De uitkomsten van deze berekeningen zijn weergegeven in tabel 15.

Tabel 15. Invloed van een aantal aspecten van onvoldoende ontwatering op de netto graslandproduktie.
(Bron: Techn.-Economische Werkgroep Beheersregelingen, 1981)

. vertraagde voorjaarsgroei:	depressie 0,71% per dag vertraging
. lengte weideperiode	: depressie 0,33% per dag eerder opstallen
. lengte veldperiode	: depressie 1,5 à 2,5% per dag verlenging (afhankelijk van maaipercentage)
. beweidingsverliezen c.q. voederwinningsverliezen	: depressie 1,25% van het beweidingsaandeel per % extra verlies en 1,83% van het ruwvoerwinningsaandeel per % extra verlies.

Opgemerkt dient te worden dat bovenstaande gegevens betrekking hebben op een zelfvoorzienend bedrijf. Voor bedrijven met een andere bedrijfsvoering kunnen evenwel soortgelijke berekeningen uitgevoerd worden.

Indien nu het effect van een bepaalde ontwateringssituatie ten aanzien van de eerdergenoemde aspecten bekend is kan aan de hand van bovenvermelde gegevens de totale opbrengstderving worden bepaald. Door de Technisch-Economische Werkgroep Beheersregelingen (1981) zijn voor een vijftal bodemtypen per Gt de effecten van de afzonderlijke aspecten van wateroverlast ingeschat. Op basis hiervan zijn vervolgens, met behulp van de in tabel 12 vermelde relaties, de opbrengstdepresies bepaald.

FLOWEX

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 vochtspanningsgrenswaarde waarbij de grond goed bewerkbaar of draagkrachtig wordt, wordt overschreden. Het vochtspanningsverloop in de bouwvoor of de zodelaag 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/verdamping, bodemeigenschappen en ontwatering. Voorbeelden hiervan zijn het numeriek model FLOW (Wind en Van Doorne, 1975) en het elektrisch analogon ELAN (Wind, 1979). In het kader van het HELP-onderzoek is het model FLOWEX (FLOW-extended) ontwikkeld (Van Wijk et al., 1984). Voor een globaal overzicht van in- en uitvoergegevens van FLOWEX zie tabel 16.

Tabel 16. Overzicht van de belangrijkste in- en uitvoergegevens van het model FLOWEX.

<u>INVOER</u>	
<u>INVOERGEGEVENS PER DAG</u>	
- Weersgegevens	: Neerslag, potentiële verdamping
<u>EENMALIGE INVOERGEGEVENS</u>	
- Randvoorwaarde onderzijde systeem	: grondwaterstand - afvoer relatie
- Randvoorwaarde bovenzijde systeem	: drukhoogte/flux
- Beginvoorwaarde	: flux (constant over het profiel)
- Bodemfysische gegevens	: Vochtkarakteristiek en capillair geleidingsvermogen (maximaal 5 bodemhorizonten per profiel)
- Geometrie bodemsysteem	: Het bodemprofiel wordt opgedeeld in maximaal 30 compartimenten van variabele dikte.
- Externe factoren	: Draindiepte Drainintensiteit
<u>UITVOER</u>	
<u>UITVOER</u>	: . drukhoogte per compartiment . vochtgehalte per compartiment . onverzadigde doorlatendheid per compartiment . fluxen tussen compartimenten . grondwaterstand . drainafvoer . runoff . werkelijke bodemverdamping

3.4. BASISGEGEVENS VOOR DE BEREKENING VAN DE WATEROVERLAST

3.4.1. Grondwaterstandgegevens

De belangrijkste factor voor de mate waarin wateroverlast optreedt is de grondwaterstand. De grondwaterstand is in sterke mate bepalend voor het vochtgehalte en de vochtspanning in de bovengrond en is diensgevolge 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. Door Van der Sluijs (1982) zijn op basis van de gegevens van een groot aantal grondwaterstandsbuizen zogenaamde overschrijdingsduurlijnen per Gt geconstrueerd (Fig. 3.7). Hierbij is onderscheid gemaakt tussen de droogste variant en de natste variant per Gt.

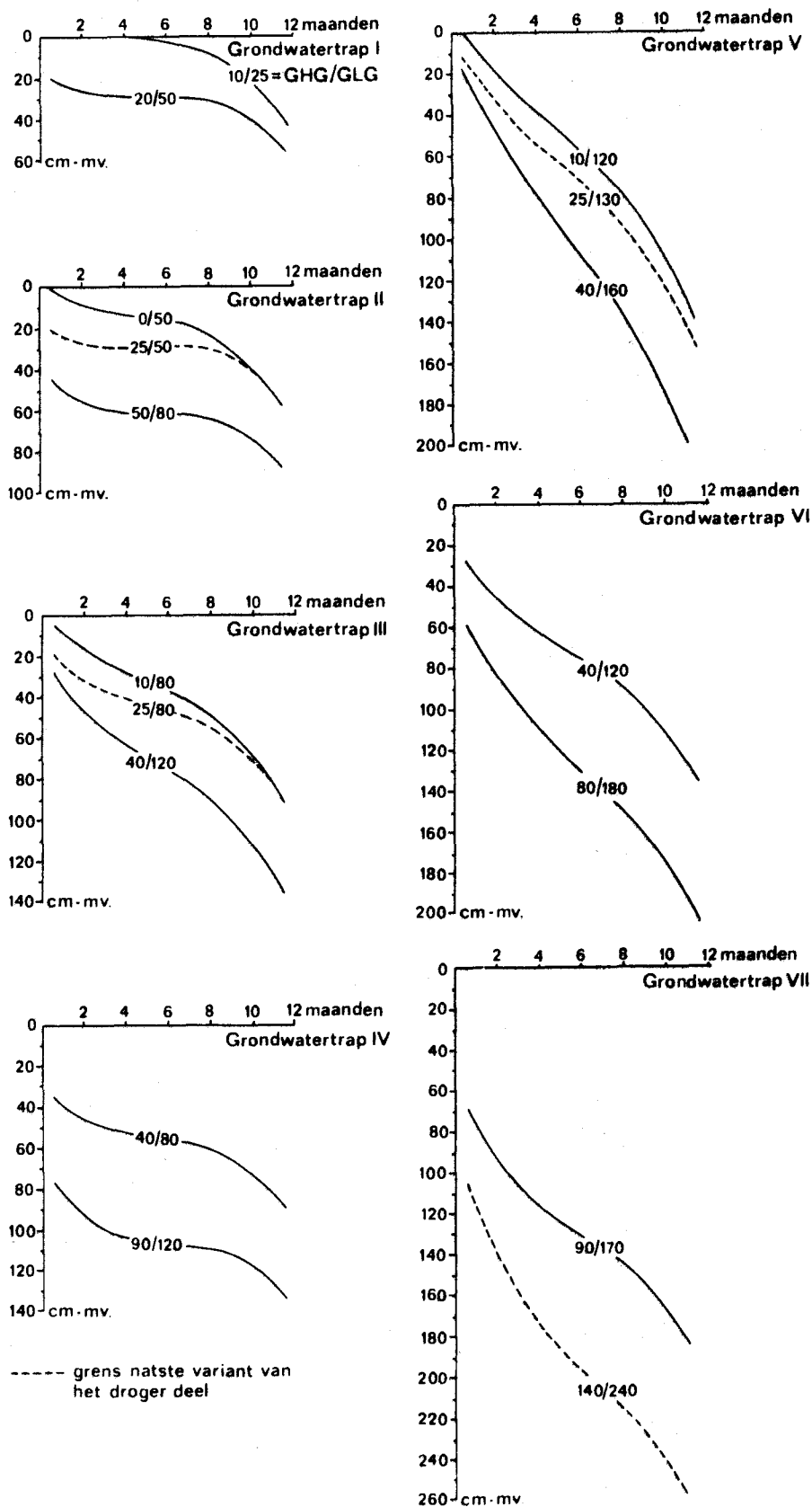
Op basis van deze lijnen kan een inzicht worden verkregen in de duur waarmee een bepaald grondwaterstandsniveau wordt overschreden. Tevens kan uit deze figuren een indruk worden verkregen van de variatie in overschrijdingsduur van een bepaalde grondwaterstand binnen de verschillende Gt's.

Uit figuur 3.7. blijkt dat vooral bij de grondwatertrappen met een relatief geringe fluctuatie (Gt I, II, III en IV) de overschrijdingsduur van bepaalde grondwaterstandsdiepten binnen een Gt sterk uiteen kunnen 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 ca. 0,5 en 5 maanden. Door de overschrijdingsduurlijnen boven een bepaalde grondwaterstandsdiepte te integreren kan voor deze grondwaterstandsdiepte de SOW waarde worden berekend. Uitgaande van een aan te nemen gemiddelde overschrijdingsduurlijn per grondwatertrap kunnen op deze wijze ook gemiddelde SOW-waarden per Gt worden berekend.

In figuur 3.8 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. Ook uit deze figuur blijkt de grote variatie in overschrijdingsduur binnen Gt II en Gt III.

Figuur 3.8 laat eveneens duidelijk zien dat de invloed van de GLG op de over-

Figuur 3.7 Overschrijdingsduur van de grondwaterstand per grondwatertrap, (naar Van der Sluijs, 1982).



schrijdingsduur van grondwaterstanden ondieper dan 50 cm -mv afneemt naarmate de GLG op grotere diepte voorkomt.

Lijnen van gelijke overschrijdingsduur zoals weergegeven in figuur 3.8 kunnen in principe voor elke willekeurige grondwaterstandsdiepte worden geconstrueerd.

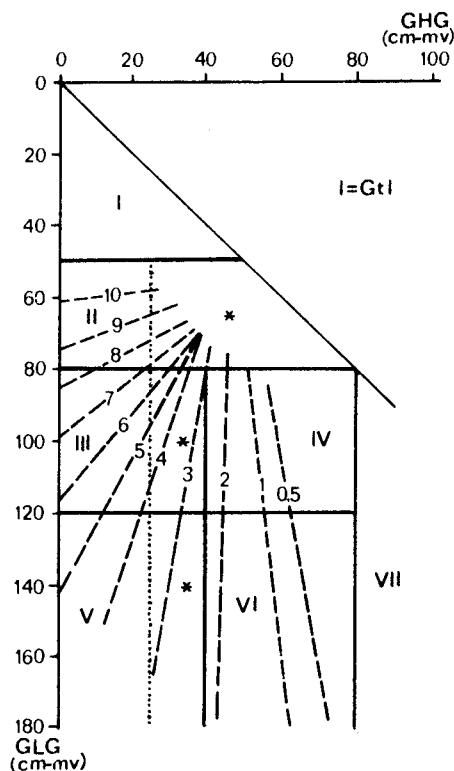
Evenzo is voor de zomertoestand een verband te leggen tussen de duur waarmee een bepaalde grondwaterstandsdiepte wordt onderschreden in afhankelijkheid van de GHG en de GLG.

Voor nadere informatie omtrent de verwerking en de interpretatie van grondwaterstandsgegevens met behulp van overschrijdingsduurlijnen; zie Jansen (1981) en Van der Sluijs (1982).

Figuur 3.8.

Lijnen van gelijke overschrijdingsduur (in maanden) van grondwaterstanden ondieper 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.



De grondwaterstand vertoont niet alleen seizoensmatige fluctuaties, doch varieert ook van jaar tot jaar als gevolg van verschillen in meteorologische omstandigheden. Zoals reeds eerder is opgemerkt dient bij schadeberekeningen op jaarbasis met deze jaarlijkse verschillen rekening te worden gehouden. Dit kan op verschillende manieren gebeuren.

Door de Landbouwschadecommissie Oost-Gelderland wordt de jaarlijkse depressie door wateroverlast bepaald door de GHG per Gt-klasse te "corrigeren" voor de feitelijke omstandigheden in dat jaar. De grootte van de correctie wordt bepaald

aan de hand van de gemiddelde afwijking van de gemeten grondwaterstand in een aantal peilbuizen op enkele peildata in het voorjaar ten opzichte van de gemiddelde grondwaterstand op deze data. De opbrengstdepressie door wateroverlast voor een bepaald jaar wordt hierbij gelijkgesteld aan de gemiddelde opbrengstdepressie bij de "gecorrigeerde" GHG. Onder 3.4.3. wordt een methode beschreven gebaseerd op de jaarlijkse verschillen in neerslaghoeveelheid.

3.4.2. Bodemkundige gegevens

Naast de aard en structuur van de bodem is ook de profielopbouw van invloed op de mate van wateroverlast.

Bij aanwezigheid van storende (slecht doorlatende) 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: keilemlagen, 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.

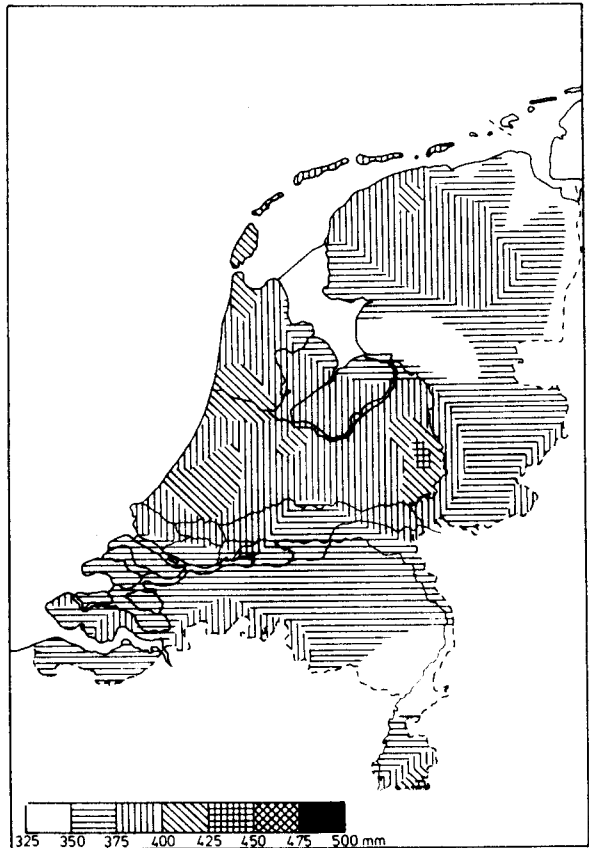
3.4.3. Neerslag- en neerslagoverschotgegevens

Ten aanzien van de verschillende aspecten van wateroverlast is vooral de hoeveelheid neerslag en de verdeling hiervan binnen het jaar van belang. Alhoewel de neerslaghoeveelheid in het winterhalfjaar - behalve in de kustgebieden - gemiddeld geringer is dan in het zomerhalfjaar is het neerslagoverschot in de winter aanzienlijk groter. Dit is een gevolg van de geringe waarden voor de verdamping in deze periode.

De gemiddelde neerslagsom in het winterhalfjaar varieert tussen de 325 en 450 mm (Fig. 3.9). Van jaar tot jaar komen echter aanzienlijke verschillen in hoeveelheid en verdeling van de neerslag voor. In figuur 3.10 is de frequentieverdeling gegeven van de cumulatieve neerslagsom per maand vanaf 1 oktober tot 1 april voor de Bilt. Hieruit blijkt dat de neerslagsom in een zeer nat winterhalfjaar ruim drie keer zo groot kan zijn dan in een zeer droge winter.

Figuur 3.9

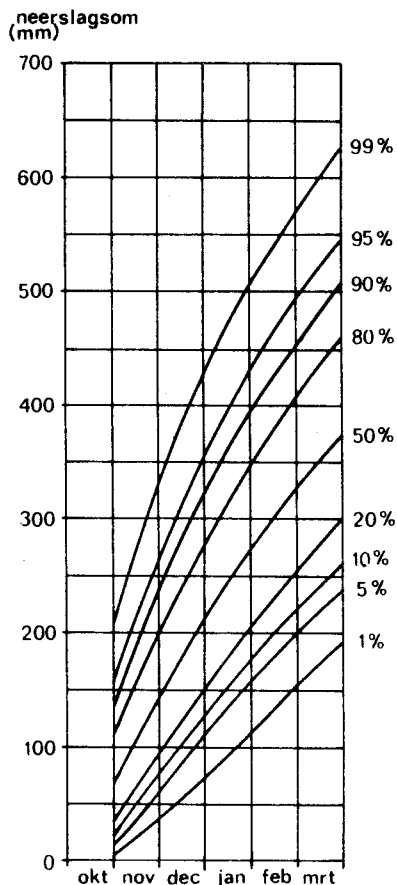
Gemiddelde cumulatieve neerslaghoeveelheid in het winterhalfjaar (1 okt.- 1 apr.) berekend over het tijdvak 1941-1970 (naar Buishand en Velds, 1982).



Figuur 3.10

Lijnen van gelijke cumulatieve frequentie (onderschrijdingskans) van de neerslagsom te De Bilt gerekend vanaf 1 okt. tot 1 april (naar Buishand en Velds, 1982)

Voorbeeld: in 20% van de jaren is de neerslagsom over de periode 1 okt. - 1 jan. kleiner dan of gelijk aan 150 mm; over de periode 1 okt. - 1 april is de neerslagsom in 20% van de jaren kleiner dan of gelijk aan 300 mm.



In het zomerhalfjaar komen perioden met neerslagoverschot minder frequent voor. Niettemin komt in De Bilt gemiddeld eens per 5 jaar een zomerhalfjaar voor met een cumulatief neerslagoverschot van meer dan 50 mm en eens per 10 jaar één met meer dan 90 mm.

Bij de berekening van deze cumulatieve neerslagoverschotten wordt de potentiële gewasverdamping gedurende het zomerhalfjaar in mindering gebracht op de neerslagsom. Door de onregelmatige verdeling van met name de neerslag, treden afwisselend perioden met een verdampingsoverschot en perioden met een neerslagoverschot op. In werkelijkheid komen in vrijwel elk zomerhalfjaar één of meerdere perioden met een neerslagoverschot voor. De som van de neerslagoverschotten per periode gedurende een bepaald zomerhalfjaar is daardoor aanzienlijk groter dan de hierboven weergegeven overschotten berekend over het gehele zomerhalfjaar.

Voor de bepaling van de depressie door wateroverlast per jaar is door de CoGroWa in een aantal gevallen uitgegaan van de neerslagsom over het volledige kalenderjaar. De gemiddelde depressie door wateroverlast voor het betreffende kaartvlak wordt hierbij vermenigvuldigd met een factor gebaseerd op de verhouding tussen de totale neerslagsom in een bepaald jaar en de 30 jarige gemiddelde neerslagsom.

Hierbij is als uitgangspunt gesteld dat in een zeer droog jaar er nauwelijks of geen sprake is van depressies door wateroverlast, terwijl in extreem natte jaren de depressie door wateroverlast ca. twee keer zo groot is als gemiddeld.

Aan dit uitgangspunt wordt voldaan door toepassing van de volgende vuistregel:

$$f_{w(i)} = 3 \frac{P_{(i)}}{\overline{P}_{30}} \quad (16)$$

waarin:

$f_{w(i)}$ = wateroverlastfactor jaar i .

$P_{(i)}$ = neerslagsom (mm) in jaar i .

\overline{P}_{30} = neerslagsom (mm) gemiddeld over 30 jaar.

Door voor de berekening van de wateroverlastfactor uit te gaan van de neerslag-som over het gehele jaar, wordt aan de neerslag in het zomerhalfjaar eenzelfde gewicht toegekend als aan de neerslag in het winterhalfjaar.

In feite is dit onjuist omdat de neerslag in de zomerperiode grotendeels verdampt en dientengevolge over het algemeen niet van invloed is op de mate van wateroverlast. Alleen in perioden met een neerslagoverschot kan dit wel het geval zijn.

Op grond van het bovenstaande is in verg. 17 een formule voor de berekening van de wateroverlastfactoren gegeven waarbij uitsluitend perioden met een neerslagoverschot in beschouwing worden genomen. Overigens liggen aan verg. 17 dezelfde uitgangspunten ten grondslag als aan verg. 16.

$$f_{w(i)} = 1,75 \frac{\Sigma(P - E_p)_i}{\Sigma(P - E_p)_{30}} - 0,75 \quad (17)$$

waarin:

$(P - E_p)_i$ = jaarsom (mm) van de positieve maandelijkse neerslagoverschotten in jaar i.

$\overline{(P - E_p)_{30}}$ = idem als gemiddelde over 30 jaar.

Ter illustratie zijn in figuur 3.11. voor de jaren 1951 tot en met 1982 de wateroverlastfactoren voor De Bilt, berekend op basis van verg. 16 en 17, grafisch weergegeven.

In deze figuur zijn tevens de jaarsommen van de neerslag en van de maandelijkse positieve neerslagoverschotten weergegeven.

Opmerkelijk is dat de qua totale neerslagsom zeer droge jaren 1959 en 1976 niet de droogste jaren blijken te zijn qua som van de positieve maandelijkse neerslagoverschotten.

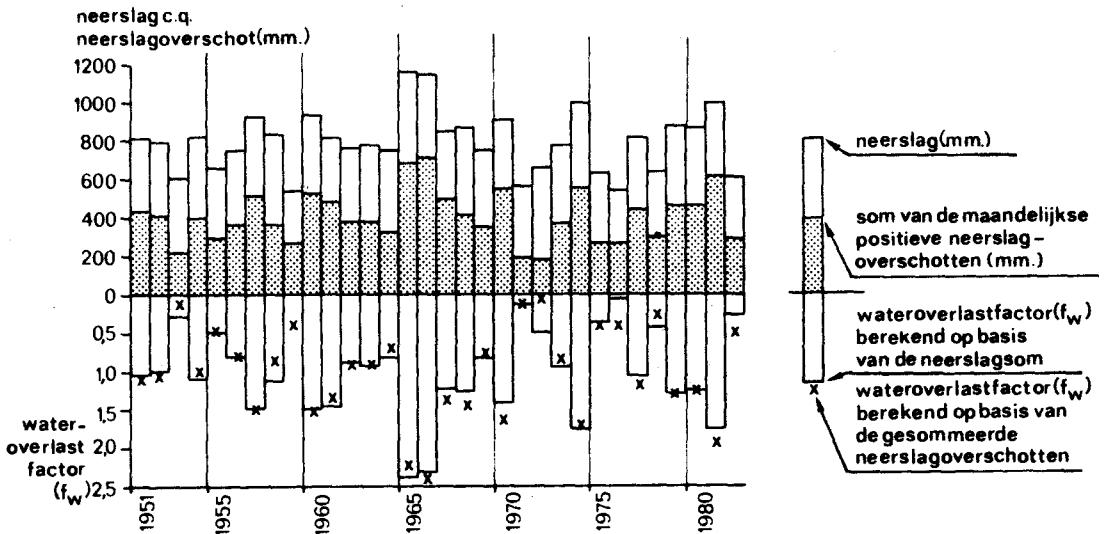
De jaren 1953, 1971 en 1972 zijn in dit opzicht droger. Dit komt ook tot uitdrukking in de berekende f_w -waarden. Over het geheel genomen stemmen de f_w -waarden berekend volgens bovengenoemde methoden goed met elkaar overeen.

De f_w -waarden berekend op basis van verg. 17 geven in principe een betere benadering van de feitelijk optredende jaarlijkse variatie. Deze werkwijze vergt echter meer rekenwerk dan de berekening op basis van verg. 16.

Gelet op de slechts geringe verschillen in uitkomst tussen beide berekeningswijzen kan voor de berekening van de wateroverlast per jaar verg. 16 ook goed worden gebruikt.

Voor praktische toepassing worden in verband met het tijdig beschikbaar zijn van de benodigde basisgegevens, de wateroverlastfactoren ook wel bepaald over 12-maandelijke perioden die niet gelijk zijn aan een kalenderjaar (bijv. november t/m oktober).

Figuur 3.11. Neerslagsom (mm), som van de maandelijke positieve neerslagoverschotten (mm) en de hiervan afgeleide wateroverlastfactoren (f_w) voor de jaren 1951 t/m 1982 te De Bilt.



3.5. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

- Opbrengstdepressies door wateroverlast worden veroorzaakt door een complex van factoren. Met name de bewerkbaarheid en de draagkracht van de bodem, zijn bij een hoge graad van mechanisering en intensivering van groot belang.
- Het onderzoek naar de invloed van wateroverlast op de gewasproductie is met betrekking tot akkerbouwgewassen sterk gericht (geweest) op klei- en zavelgronden. Ten aanzien van grasland richtte het onderzoek zich vooral op veengronden en klei-op-veengronden. Voor zandgronden zijn relatief weinig onderzoeksgegevens beschikbaar.
- De COLN-isocarpen stemmen niet overeen met de huidige inzichten omtrent de opbrengstdepressie door wateroverlast. Bovendien sluit de indeling in profielgroepen niet aan op het huidige systeem van bodemclassificatie.
- Zowel bij de afhandeling van aanspraken op schadevergoeding als bij advisering over vergunningaanvragen wordt voor de bepaling van de gemiddelde opbrengstdepressie door wateroverlast op zandgronden en gronden met een moerige bovengrond uitgegaan van de in figuur 3.5 en figuur 3.6 weergegeven empirische depressiecurven voor grasland en akkerbouw.
- Voor kleigronden en gronden met een kleiige bovengrond wordt vooralsnog de gemiddelde depressie door wateroverlast in voorkomende gevallen gelijk gesteld aan de depressie op gronden met een moerige bovengrond. Toekomstig uit te voeren onderzoek zal moeten uitwijzen of deze aanname herziening behoeft.
- De procentuele opbrengstdepressies door wateroverlast bij akkerbouwmatige tuinbouw worden in voorkomende gevallen gelijk gesteld aan de opbrengstdepressies bij akkerbouw.
- Bij de berekening van de netto-opbrengstverandering bij verlaging van de grondwaterstand dient in voorkomende gevallen rekening te worden gehouden met de mogelijkheid de depressie door wateroverlast door bedrijfstechnische maatregelen te beperken. Zo kan met name in zandgebieden met zowel hoge als

lage gronden per bedrijf, de schade door aanpassing van het beweidingsschema worden gereduceerd. Uit praktische overwegingen verdient het aanbeveling hiervoor in een bepaald gebied één reductiefactor te hanteren gebaseerd op de gemiddelde situatie in het betreffende gebied.

- Algemene richtlijnen en uitgangspunten voor het vaststellen van de te hanteren reductiefactor voor de wateroverlastdepressie in een behaald gebied zijn thans nog niet beschikbaar. Nader onderzoek op dit punt is gewenst.
- Het is wenselijk dat bovenbedoelde empirische relaties nader worden onderbouwd aan de hand van proefveldgegevens en/of resultaten van modelberekeningen. Hiertoe kan gebruik worden gemaakt van het model ELAN dan wel van het hiervan afgeleide numerieke model FLOWEX.
De uitkomsten van modelberekeningen dienen evenwel ook te worden getoetst aan praktijkmetingen of proefveldgegevens.
- Het verdient aanbeveling nader onderzoek te verrichten naar gebruik van SOW waarden en/of overschrijdingsduurlijnen voor het karakteriseren van de waterhuishoudkundige situatie. Hierbij dient eveneens aandacht geschonken te worden aan de relatie tussen de Gt (GHG, GVG en GLG) en de SOW-waarden.
- Voor de benadering van de wateroverlastdepressie per jaar zijn een 3-tal werkwijzen ontwikkeld, waarbij wordt uitgegaan van de gemiddelde depressie over een reeks van jaren. Bij één werkwijze wordt de jaarlijkse depressie gerelateerd aan de feitelijk opgetreden grondwaterstanden op een aantal peildata; bij de andere methoden wordt de gemiddelde depressie vermenigvuldigd met een factor gebaseerd op de jaarlijkse neerslaghoeveelheid c.q. de jaarsom van de positieve maandelijkse neerslagoverschotten.
De jaarlijkse depressie door wateroverlast kan op snelle en eenvoudige wijze benaderd worden door verg. 16.
- Het verdient aanbeveling bovengenoemde methoden voor de benadering van de jaarlijkse wateroverlastdepressie door nader onderzoek te onderbouwen dan wel alternatieve methoden voor de vaststelling van de jaarlijkse depressie te ontwikkelen.

4 FINANCIËLE WAARDERING VAN OPBRENGSTVERANDERINGEN

4.1. INLEIDING

Grondwaterstandsverlagingen als gevolg van wateronttrekking veroorzaken veelal een verandering in de opbrengst van de landbouwgewassen. Deze verandering kan zowel bestaan uit een opbrengstverlaging door toeneming van het vochttekort als uit een opbrengstverhoging door vermindering van de wateroverlast.

Voor het ontwerpen van een voorstel tot vergoeding van schade dienen de financiële gevolgen van de opbrengstverandering (de schade of het voordeel) te worden berekend. Hierbij kunnen verschillende werkwijzen worden gevolgd. De in het verleden toegepaste benaderingen zijn geïnventariseerd en beschreven door de Werkgroep Landbouwkundige Aspecten van de Commissie Invloed Grondwaterwinning op de Omgeving (KIWA, 1979).

Uitgangspunt bij de vaststelling van de schadevergoeding is dat de grondgebruiker door aanpassingen in de bedrijfsuitvoering, de schade zo beperkt mogelijk houdt. In dit hoofdstuk wordt er vanuit gegaan dat deze aanpassingen uitsluitend plaatsvinden binnen de grenzen van de aanwezige bedrijfsstructuur.

Voordat tot de berekening van de schade kan worden overgegaan dienen eerst de feitelijk optredende produktieveranderingen te worden vastgesteld. Met betrekking tot akker- en tuinbouwprodukten kan de feitelijke opbrengstverandering worden gelijk gesteld aan de berekende opbrengstverandering.

Voor grasland is het werkelijk verlies van grasproduktie minder eenvoudig vast te stellen. Als het gras kort is, is de groei per dag geringer dan wanneer het gras langer is. Het werkelijke verlies hangt derhalve nauw samen met het gebruik van het grasland. Het feit of er gemaaid wordt, en in welk stadium en of er geweid wordt, heeft invloed op de werkelijke verliezen die ontstaan. Daarnaast speelt de periode waarin de verliezen optreden een belangrijke rol (in juni of september).

De berekeningsmethoden voor het vaststellen van de opbrengstveranderingen zoals besproken in de hoofdstukken 2 en 3 zijn veelal gebaseerd op proefveldgegevens. De omstandigheden waaronder deze gegevens zijn verkregen zijn echter in veel gevallen niet representatief voor praktijkomstandigheden. Op proefvelden oogst

men op datum, veelal in maaistadium, terwijl op bedrijven op gebruik "geogst" wordt, zowel weiden als maaien. Op proefvelden oogst men dus veelal in een later stadium, waardoor de verschillen dan ook groter zijn dan op praktijkbedrijven. Bovendien wordt op proefvelden het gemaaide gras onmiddellijk afgevoerd. Bij maaien voor ruwvoerwinning blijft het gewas nog enige tijd op het veld liggen waardoor de hergroei geremd wordt. Doornbos et al. (1977) berekende dat op basis van deze factoren de meeropbrengst door berekening onder praktijkomstandigheden 15 à 25% lager is dan op proefvelden.

Door het opstellen van zogenaamde graslandgebruiksmodellen (Wieling et al., 1977) kan de werkelijke produktie en het produktieverschil van het grasland zo nauwkeurig mogelijk bepaald worden. Hierbij wordt voor een bepaald bedrijfstype, op basis van de veebezetting, het beweidingssysteem en het verloop van de bruto-grasproduktie, het graslandgebruik gesimuleerd (zie ook 3.3.2.).

De financiële gevolgen van de feitelijk optredende opbrengstveranderingen als gevolg van wateronttrekking kunnen op verschillende wijzen worden berekend. In het onderstaande (4.2.) wordt een aantal methoden voor de berekening van de schade nader besproken. De in dit verband benodigde basisgegevens worden in 4.3. behandeld. In 4.4. tenslotte wordt een aantal conclusies ten aanzien van de financiële waardering van opbrengstveranderingen vermeld en worden aanbevelingen voor nader onderzoek gedaan.

4.2. METHODEN TER BEPALING VAN DE SCHADE

4.2.1. Kosten van ondervangende en/of compenserende maatregelen

Om opbrengstvermindering als gevolg van grondwaterstandsverlaging te voorkomen of te beperken kunnen in principe ondervangende en/of compenserende maatregelen worden genomen. Hierbij kan bijvoorbeeld gedacht worden aan kunstmatige watervoorziening.

De schadevergoeding wordt in dat geval gebaseerd op de kosten van deze maatregelen en het eventueel resterende inkomensverlies. In principe is het ook mogelijk dat er door het treffen van schade ondervangende of -compenserende maatregelen een hoger inkomen wordt verkregen dan zonder de invloed van de wateronttrekking het geval zou zijn geweest.

Bij toepassing van kunstmatige watervoorziening kunnen de jaarlijkse kosten (rente + afschrijving, onderhoud, energie en arbeid) als uitgangspunt voor de schadevergoeding worden gehanteerd, indien althans de kunstmatige watervoorziening in de situatie zonder waterwinning geen deel uitmaakte van de bedrijfsvoering. In de tweede helft van de zeventiger jaren is het aantal beregeningsinstallaties sterk uitgebreid. Verwacht wordt dat deze ontwikkeling zich in de komende jaren verder doorzet (SWLT, 1980). Met name grasland, aardappelen en bieten worden in toenemende mate beregend. Bij de overige akkerbouwgewassen is berekening minder gebruikelijk.

Bij intensieve teelten met een relatief hoge geldopbrengst per ha - met name tuinbouwprodukten - wordt enigerlei vorm van kunstmatige watervoorziening reeds geruime tijd toegepast; kunstmatige watervoorziening kan voor deze teelten worden beschouwd als een gangbaar onderdeel van de bedrijfsvoering. In deze situatie worden in principe alleen de méérkosten van de kunstmatige watervoorziening als schade ten gevolge van de grondwaterstandsverlaging aangemerkt. Dit geldt in principe eveneens voor grasland- en akkerbouwbedrijven die ook in de situatie zonder wateronttrekking reeds gebruik (zouden) maken van berekening.

4.2.2. Kostprijs van het gedeerde produkt

Door het Landbouw Economisch Instituut (LEI) is een methode ontwikkeld om de kostprijs van gras te bepalen (Van der Giessen, 1980). Deze methode werd toegepast door de Directie Beheer Landbouwgronden (DBL) om de hoogte van de beheersvergoedingen voor grasland, waarop beperkingen rusten in het kader van de Relatienota, te bepalen. Gekozen is voor een waardering op basis van de produktiekosten van het te velde staande gras (gras op stam), bij een doelmatige bedrijfsopzet. Voor de berekening wordt uitgegaan van de opbrengsten en kosten van de grasproduktie van een groot aantal weidebedrijven die een LEI-boekhouding hebben. De kosten van gras op stam zijn moeilijk te bepalen, omdat van sommige onderdelen alleen de totale kosten voor het gehele bedrijf bekend zijn (bijvoorbeeld werktuigkosten). Deze kosten kunnen niet goed uiteengerafeld worden, waardoor moeilijk valt aan te geven welk deel hiervan aan bepaalde onderdelen van het bedrijf moet worden toegerekend. Ook is het discutabel welke grondkosten, de geldende kostprijs, of de jaarlijkse kosten van de marktwaarde van de grond, meegenomen moeten worden. Bovendien worden bij deze benadering van de schade de eventuele overige problemen die in de bedrijfsvoering kunnen ontstaan ten aan-

zien van bijvoorbeeld arbeid, werktuigen, meer of minder loonwerk, eventuele verkoop van vee etc., niet in beschouwing genomen.

Een belangrijk argument tegen het toepassen van deze methode voor de berekening van de schade is tevens gelegen in het feit dat een ondernemer er naar streeft om winst te maken en zal proberen een hogere opbrengst te verkrijgen. De schade berekend op basis van de kostprijs van het gederfde produkt geeft dientengevolge niet de "echte" schade weer die door de grondgebruiker wordt geleden.

Ook bij akkerbouw- en tuinbouwgewassen is de kostprijs van het gederfde produkt niet de juiste methode om de schade te berekenen. Als er minder produkten van het land komen, daalt de geldopbrengst; de kosten blijven daarentegen vrijwel gelijk.

4.2.3. Opbrengstprijis van het gederfde produkt

Bij deze methode wordt eerst de bruto-opbrengst van het betreffende gewas berekend voor de situatie zonder wateronttrekking, en vervolgens voor de situatie met wateronttrekking. (In de bruto-opbrengst zijn zowel het hoofdprodukt als de eventuele bijprodukten verwerkt. Eventuele verschillen in kwaliteit worden mede in beschouwing genomen.) Het verschil in bruto-opbrengst wordt veroorzaakt door de wateronttrekking. Van dit opbrengstverschil moeten de kosten van bewaring, transportkosten, veilingkosten en kosten voor fust (kisten, kratten) worden afgetrokken. Deze bedragen $\pm 5\%$ van de bruto-opbrengst voor akkerbouw en $\pm 10\%$ van de bruto-opbrengst voor tuinbouw.

Voor het vaststellen van de schade ten gevolge van wateronttrekking kan deze benadering alleen toegepast worden bij marktbaar gewassen (akkerbouw- en tuinbouwprodukten). Voor grasland is deze methode niet bruikbaar omdat daarbij sprake is van een tussenprodukt dat doorgaans niet verhandeld wordt.

4.2.4. Kosten aankoop vervangende produkten

Voor graslandbedrijven kan het berekenen van de vergoeding voor het ontbrekende gewas geschieden op basis van aanvulling van het tekort door aankoop van vervangende ruwvoerprodukten en/of krachtvoer.

Deze benadering van de schade wordt onder meer toegepast door de Landbouwschade-commissie Oost Gelderland. Ook in de door de CoGroWa uitgebrachte voorstellen tot regeling van de schade wordt voor de benadering van de schade uitgegaan van de kosten van aankoop van vervangend ruwvoer en krachtvoer. Arbitrair wordt

hierbij aangenomen dat op basis van voederwaarde evenveel ruwvoer als krachtvoer wordt aangekocht. De hoeveelheden zijn eveneens globaal bepaald. Voor een nauwkeurige berekening van de schade moeten bij de bepaling van de hoeveelheden aan te kopen ruwvoer en krachtvoer echter ook bedrijfstechnische aspecten van de bedrijfsvoering zoals melkproduktie per koe, veebezetting en stikstofgift in het betreffende gebied in beschouwing worden genomen. Hiertoe kan gebruik worden gemaakt van een aangepaste versie van een door het Proefstation voor de Rundveehouderij (PR) ontwikkeld computerprogramma "Overzicht voedervoorziening". Rekening houdend met onder andere de stikstofgift per ha, de veebezetting per ha, de melkproduktie per koe en het beweidingssysteem wordt met behulp van dit programma de jaarlijks aan te kopen hoeveelheid ruwvoer en krachtvoer in kVEM per ha berekend, voor de situatie zonder en met wateronttrekking. Hierbij wordt uitgegaan van de grasproduktie zoals berekend op basis van de in hoofdstukken 2 en 3 besproken methoden.

In tabel 17 is een fictief berekeningsvoorbeeld gegeven op basis van de benadering volgens het PR, waarbij er vanuit is gegaan dat in de situatie met wateronttrekking de grasproduktie lager is dan in de situatie zonder wateronttrekking ($Q.2 < Q.1$).

Tabel 17 Voorbeeld berekening aan te kopen hoeveelheid ruwvoer en krachtvoer in de situatie zonder en met wateronttrekking.

	<u>Zonder</u> Wateronttrekking	<u>Met</u> wateronttrekking
<u>Invoergegevens</u>		
- veebezetting (Mk/ha)	1,91	1,91
- melkproduktie (kg/koe)	5000	5000
- stikstofgift (kg/ha)	200	200
- grasproduktie (kg.ds/ha)	Q.1	Q.2
<u>Uitkomsten van de berekening</u>		
- aan te kopen ruwvoer (kVEM/ha)	1271	1850
- aan te kopen krachtvoer (kVEM/ha)	2394	2594

Aan de hand van de in tabel 17 vermelde gegevens en een willekeurig gekozen prijs per kVEM kan de schadevergoeding als volgt worden berekend:

verschil ruwvoer	1850 - 1271 = 579 kVEM à f 0,45 = f 318,45
verschil krachtvoer	2594 - 2394 = 200 kVEM à f 0,55 = f 110,--
Totale vergoeding	<u>f 428,45/ha</u>

Met deze methode is het in principe mogelijk de schade, op basis van de feitelijke bedrijfssituatie, per bedrijf te berekenen.

Om praktische redenen wordt echter de voorkeur gegeven aan een werkwijze waarbij - uitgaande van gemiddelde waarden voor de veebezetting, de melkproduktie en de stikstofgift in een bepaald gebied - de gemiddelde schade per jaar per % opbrengstdepressie voor het betreffende gebied wordt berekend.

De bovenomschreven methode is eenvoudig en begrijpelijk voor de belanghebbende: men verliest een hoeveelheid produkt en men krijgt er eenzelfde produkt of een vervangend produkt voor terug. Het nadeel van deze methode is dat de bedrijfsvoering buiten beschouwing blijft. Zo kan een vermindering van de produktie van het grasland invloed hebben op de arbeidsbehoefte, de werktuigenkosten, de inschakeling van loonwerk enz.; factoren die op hun beurt weer invloed hebben op de bedrijfsuitkomsten.

4.2.5. Saldeberekening per koe

Bij deze methode wordt er vanuit gegaan dat de vermindering van de grasproduktie zo groot is dat dit leidt tot een verlaagde veebezetting. De verminderde grasproduktie die ontstaat door wateronttrekking wordt dus alléén uitgedrukt in een verlaagde veebezetting per ha. Voor toepassing van deze methode wordt uitgegaan van de netto grasprodukties in de situatie zonder en met wateronttrekking berekend op basis van de in hoofdstuk 2 en hoofdstuk 3 besproken methoden. Daarnaast moeten per jaar de volgende gemiddelde gegevens van het betreffende gebied worden verzameld voor de situatie zonder wateronttrekking:

- de veebezetting;
- de melkproduktie per koe;
- het aantal stuks jongvee per melkkoe;
- de stikstofgift per ha;
- de prijzen van de produkten en de produktiemiddelen.

Met behulp van het in 4.2.4. genoemde programma "Overzicht Voedervervoorziening" van het PR wordt vervolgens de hoeveelheid aan te kopen ruwvoer en krachtvoer in de situatie zonder wateronttrekking bepaald. Op basis van bovenvermelde gegevens en de berekende hoeveelheid aan te kopen ruwvoer en krachtvoer wordt het saldo per koe berekend.

Vervolgens wordt met het programma van het PR de veebezetting op basis van de graslandproduktie met wateronttrekking berekend. De schade per ha wordt vastgesteld door de vermindering van de veebezetting te vermenigvuldigen met het saldo per koe.

Ter illustratie is in tabel 18 een fictief voorbeeld gegeven van de berekening van de schade op basis van deze methode.

Tabel 18. Voorbeeld berekening saldo per koe.

Opbrengsten: 5500 kg melk à f 0,73 = f 4.015,--		
omzet en aanwas	- 785,--	
	<hr/>	f 4.800,--
Kosten : aankoop ruwvoer en		
krachtvoer	f 1.500,--	
rente, veeartskosten		
uitvalrisico, gedeel-		
te gebouwenkosten	- 500,--	
	<hr/>	f 2.000,--
Saldo per koe		<hr/> <u>f 2.800,--</u> =====

Indien als gevolg van de geringere grasproduktie de veebezetting in de situatie met wateronttrekking daalt met bijvoorbeeld 0,2 Mk per ha, bedraagt de schade op basis van dit voorbeeld $0,2 \times f 2.800 = f 560,--$ per ha.

Bij bovengenoemde methode wordt rekening gehouden met enkele onderdelen van de bedrijfsvoering. Voor een nauwkeurige benadering van de schade zullen echter meerdere aspecten van de bedrijfsvoering mede in beschouwing moeten worden genomen.

4.2.6. Berekening produktievermindering in bedrijfsverband

De schade berekend op basis van de in de voorgaande paragrafen beschreven methoden hoeft niet de echte schade te zijn die de ondernemer lijdt. In principe kan hij zijn bedrijfsvoering zodanig aanpassen dat de schade hierdoor geringer wordt. Zo kan bijvoorbeeld bij een verlaagde produktie van het grasland, het jongvee worden uitbestede, waardoor er voor de melkkoeien een minder groot tekort aan weidegras ontstaat. Ook kan verondersteld worden dat het melkvee 's nachts op stal verblijft, waardoor minder weidegras nodig is, en meer ruwvoer voor de winterperiode overblijft. Op langere termijn gezien kan de schade geringer worden doordat de kosten van bijvoorbeeld werktuigenpark en de gebouwenkosten geringer worden.

Er kunnen zich evenwel ook situaties voordoen waarbij de feitelijk optredende schade groter is dan de schadevergoeding berekend op basis van de opbrengst van het verloren gegane gewas of de kosten van aankoop van vervangende produkten. Te denken is hierbij bijvoorbeeld aan de kosten van extra arbeid voor de verzorging van het grasland en voor het bijvoeren van het vee in droge perioden of aan de schade die ontstaat door inkrimping van de veestapel of vermindering van de melkproduktie in gevallen waarbij de grasgroei in de zomer ontoereikend is voor de directe voedervoorziening van het vee. Behalve bovengenoemde bedrijfsvoeringsfactoren, kan ook de verkavelingssituatie van invloed zijn op de hoogte van de schade. Op een huiskavel kan een bepaalde opbrengstvermindering tot een andere schade leiden dan op een veldkavel.

Om de schade of het voordeel ten gevolge van wateronttrekking zo nauwkeurig mogelijk vast te stellen zal de opbrengstverandering per jaar per bedrijf in bedrijfsverband doorgerekend moeten worden. Hiervoor zijn echter een groot aantal kengetallen nodig.

De schade ten gevolge van de wateronttrekking kan eveneens bepaald worden door per jaar voor het betreffende gebied de gemiddelde schade te berekenen voor een aantal aangenomen waarden voor de produktieverandering. De werkwijze hierbij is in grote lijnen als volgt.

Allereerst zal het produktieverloop van het gras gedurende het seizoen in de situatie zonder wateronttrekking en in de situatie met wateronttrekking nauwkeurig bepaald moeten worden. Op basis hiervan worden voor een aantal (voor het gebied relevante) bedrijven, graslandgebruiksmodellen op gesteld. Vervolgens

wordt voor deze bedrijven middels een bedrijfsmodel de arbeidsopbrengst berekend voor de situatie zonder wateronttrekking en voor een aantal situaties met verschillende aangenomen waarden voor de produktieverandering ten gevolge van de wateronttrekking.

De verschillen in berekende arbeidsopbrengst in de situatie zonder en met wateronttrekking zijn bepalend voor de hoogte van de schadevergoeding. Op basis van de uitkomsten van bovengenoemde berekeningen kan voor het betreffende gebied een relatie vastgesteld worden tussen de gemiddelde schade en de procentuele produktieverandering. In tabel 19 is dit weergegeven aan de hand van een eenvoudig voorbeeld. Voor de berekening van de gemiddelde schade is aangenomen dat elk van de in tabel 19 genoemde bedrijfstypen een zelfde oppervlakte in het schadegebied vertegenwoordigen, m.a.w.:

- 1/3 van de totale oppervlakte bestaat uit bedrijven van 15 ha met een traditionele stal,
- 1/3 bestaat uit bedrijven van 25 ha met een traditionele stal en
- 1/3 bestaat uit bedrijven van 25 ha met een ligboxenstal.

Tabel 19 Voorbeeld berekening schade op basis van de arbeidsopbrengst in de situatie zonder wateronttrekking en bij 10% produktiedaling voor drie bedrijfstypen.

Bedrijfs- opp.	Stal- type 1)	Stikstof- gift (kg/ha)	Arbeidsopbrengst (f/ha.jr)		Schade (f/ha.jr)	
			zonder wateront- trekking	met 10% produktiever- mindering	per ha per be- drijf	gewogen aandeel per ha van de totale oppervlakte
15 ha	TS	200	900	510	390	130
25 ha	TS	200	1300	1000	300	100
25 ha	LS	400	2200	1690	510	170

Gem. schade (f/ha) totale opp.: f 400

1) TS = traditioneel staltype

LS = ligboxenstal

De gemiddelde schade in het betreffende gebied bij een produktiedaling van 10% bedraagt f 400,-- ofwel f 40,-- per %-depressie. Op basis van deze methode kan de schade per % depressie voor het betreffende gebied op eenvoudige wijze worden bepaald. Met deze methode is het tevens mogelijk onderscheid te maken op basis van het type bedrijf.

Door Van der Straten et al. (1980) is deze methode toegepast om de invloed van een verbeterde ontwatering op de arbeidsopbrengst te bepalen. Het voordeel van dit systeem is dat op de meest juiste manier de schade bepaald kan worden. Het nadeel is dat het minder overzichtelijk is dan de methoden genoemd in 4.2.4. en 4.2.5. Ook zal het veel tijd vergen om voor dit systeem de benodigde gegevens te verzamelen. Met behulp van de lineaire programmeringsmethode die door het PR en de afdeling LandbouwEconomisch Onderzoek (LEO) van de Landinrichtingsdienst is ontworpen, is deze benadering echter uitvoerbaar.

Voor akkerbouw- en tuinbouwprodukten is het in principe ook mogelijk de schade dan wel het voordeel bij produktiedaling respectievelijk -stijging in bedrijfsverband te berekenen. Factoren als arbeid en werktuigkosten kunnen dan mede in beschouwing worden genomen. De invloed hiervan op de te berekenen schadevergoeding is echter waarschijnlijk niet groot.

4.3. BASISGEGEVENS VOOR DE BEREKENING VAN DE SCHADE

4.3.1. Bedrijfstechnische gegevens

De aard en hoeveelheid van de voor de schadeberekening benodigde bedrijfstechnische gegevens zijn afhankelijk van de methode van schadeberekening en de mate van detaillering. Gegevens van individuele bedrijven zijn meestal uitsluitend te verkrijgen van de eigenaar of de gebruiker van de grond. Doordat bij de behandeling van een bepaald schade-object (winplaats) meestal een groot aantal bedrijven zijn betrokken vergt een benadering per bedrijf een grote hoeveelheid invoergegevens. Uit praktische overwegingen en mede uit oogpunt van gewenste uniformiteit in de schadeberekening, wordt in principe dan ook niet van een benadering per bedrijf uitgegaan, doch wordt voor alle bedrijven in een bepaald gebied de schade berekend op basis van gegevens die als representatief voor het gehele gebied kunnen worden beschouwd.

De hiervoor benodigde bedrijfstechnische gegevens (grondgebruik, veebezetting, bouwplan, bemestingsniveau, bedrijfsomvang, melkproductie, enz.) kunnen worden verkregen via het Landbouw-Economisch Instituut (LEI) en de Directie Landbouw en Voedselvoorziening (LaVo) in de betreffende provincies.

4.3.2. Prijzen van produkten en voedermiddelen

De voor de schadeberekening benodigde gegevens over de prijzen van akkerbouw- en tuinbouwprodukten kunnen worden ontleend aan publikaties van onder andere het Proefstation voor de Akkerbouw en de Groenteteelt in de Vollegrond (PAGV), het LEI en het CBS¹.

De prijzen van met name tuinbouwprodukten vertonen onder invloed van vraag en aanbod een sterke variatie in de tijd, zowel tijdens het verkoopseizoen als tussen verschillende jaren. Voor akkerbouwprodukten geldt dit in mindere mate. Voor de schadeberekening wordt meestal uitgegaan van de gemiddelde jaarprijzen. Bij akkerbouwprodukten kan eventueel nog onderscheid worden gemaakt naar gebied, bijvoorbeeld op basis van de door het CBS gehanteerde indeling voor landbouwgebieden. De prijsverschillen tussen de onderscheiden gebieden zijn echter gering. Omdat gewasschade als gevolg van grondwateronttrekking overwegend voorkomt in de zandgebieden wordt de prijs in deze gebieden meestal als uitgangspunt voor de schadeberekeningen gebruikt. In tabel 20 zijn voor de belangrijkste akkerbouwgewassen de gemiddelde jaarprijzen voor het zuidelijk en oostelijk zandgebied gegeven voor de jaren 1969 tot en met 1981.

Bij akkerbouw en tuinbouw worden de gewassen volgens een bepaald vruchtwisselingsschema verbouwd. Aangezien enerzijds de prijzen van de produkten onderling en van jaar tot jaar sterke verschillen vertonen en anderzijds de opbrengstveranderingen op de verschillende percelen of perceelsgedeelten van een bedrijf niet gelijk zijn en bovendien van jaar tot jaar kunnen verschillen, zou voor een juiste berekening van de schade bekend moeten zijn welke gewassen in de loop der jaren op de diverse percelen of perceelsgedeelten zijn verbouwd. Vooral indien de schade over langere perioden berekend moet worden is dit praktisch niet uitvoerbaar, temeer daar deze gegevens over vroegere jaren meestal niet meer be-

¹ PAGV: Kwantitatieve Informatie voor de Akkerbouw en de Groenteteelt in de Volle grond. (Jaarlijkse uitgave).
LEI: Maandblad prijstatistiek.
LEI/CBS: Landbouwcijfers (jaarlijkse uitgave).
LEI/CBS: Gebiedsgegevens.

Tabel 20 Telersprijzen van de voornaamste akkerbouwgewassen in het zuidelijk en oostelijk zandgebied.

(Gem. jaarprijzen, incl. B.T.W., af boerderij in f per 100 kg).

Ontleend aan: Kwantitatieve Informatie voor de Akkerbouw en de Groenteteelt in de Vollegrond (P.A.G.V.).

	Tarwe		Overige granen ¹		Poot- aard- appelen	Cons. ² aard- appelen	Fabrieks- aardappelen	Suiker- bieten
	korrel	stro	korrel	stro				
1969	35,30	7,95	30,75	8,12	21,40	15,25	7,60	6,78
1970	37,78	12,20	32,44	12,18	20,90	9,14	7,60	7,23
1971	36,48	5,89	31,13	6,13	20,20	8,20	7,60	8,19
1972	38,63	4,65	32,91	4,62	21,60	18,20	8,20	8,41
1973	39,55	8,70	36,11	8,45	22,60	14,88	8,30	8,07
1974	40,15	12,80	38,10	12,62	23,80	11,65	9,10	10,21
1975	43,44	14,00	40,26	12,45	25,40	17,64	10,12	10,41
1976	46,75	18,30	46,10	21,37	41,20	35,00	11,96	9,37
1977	46,50	.....	43,76	8,60	31,89	10,59	11,36	9,54
1978	47,15	7,00	43,85	7,83	36,47	15,30	11,55	9,69
1979	46,80	.....	44,26	12,10	38,23	12,10	11,65	10,67
1980	47,95	10,90	45,05	12,18	30,66	12,40	12,32	11,84
1981	52,90	10,80	50,08	10,85	.....	13,30	13,30	10,35

¹ Rekenkundig gemiddelde van rogge, zomergerst en haver.

² Veldgewas.

schikbaar zijn. In principe wordt daarom voor de schadeberekening uitgegaan van de gewogen gemiddelde opbrengstprijs van het voor het betreffende gebied of bedrijf representatieve bouwplan. Op basis hiervan kan tevens de toekomstige schade op eenvoudige wijze worden berekend.

Voor de berekening van de hoogte van de vergoeding voor gewasschade op rundveehouderijbedrijven, dient de prijs voor aankoop van ruwvoer en krachtvoer bekend te zijn. De prijzen hiervan variëren zowel naar plaats als in de tijd, afhankelijk van vraag en aanbod. Bovendien is de prijs van de verschillende ruwvoerders per eenheid van voederwaarde (kVEM) niet gelijk. Grotentraast (1980) berekende

voor de periode 1950 tot en met 1980 de gemiddelde verbruikersprijs van zowel ruwvoer als krachtvoer (Tabel 21). Bij de berekening van deze prijzen is uitgegaan van de gemiddelde jaarprijs in Nederland. Bij de bepaling van de ruwvoerprijzen is tevens rekening gehouden met de ontwikkelingen in de ruwvoermarkt welke zich in de loop der jaren hebben voltrokken. Zo is het aandeel van snijmais bij de prijsvaststelling in de zeventiger jaren sterk uitgebreid, terwijl het aandeel van hooi sterk is verminderd.

Tabel 21 Gemiddelde verbruikersprijs ruwvoer en krachtvoer in f/kVEM (naar Grotentraast, 1980).

Jaar	Ruwvoer	Krachtvoer	Jaar	Ruwvoer	Krachtvoer
1950	f 0,227	f 0,313	1966	f 0,314	f 0,396
1951	- 0,254	- 0,388	1967	- 0,271	- 0,396
1952	- 0,252	- 0,362	1968	- 0,300	- 0,390
1953	- 0,233	- 0,335	1969	- 0,368	- 0,399
1954	- 0,311	- 0,356	1970	- 0,400	- 0,416
1955	- 0,232	- 0,340	1971	- 0,313	- 0,388
1956	- 0,262	- 0,346	1972	- 0,314	- 0,440
1957	- 0,236	- 0,317	1973	- 0,394	- 0,480
1958	- 0,216	- 0,327	1974	- 0,454	- 0,466
1959	- 0,311	- 0,336	1975	- 0,457	- 0,476
1960	- 0,237	- 0,331	1976	- 0,550	- 0,552
1961	- 0,226	- 0,351	1977	- 0,431	- 0,488
1962	- 0,345	- 0,365	1978	- 0,448	- 0,485
1963	- 0,284	- 0,368	1979	- 0,502	- 0,553
1964	- 0,246	- 0,382	1980	- 0,487	- 0,578
1965	- 0,295	- 0,387			

De in tabel 21 genoemde bedragen kunnen als basis voor de berekening van de schade in de jaren 1950 tot en met 1980 worden gehanteerd. De voor de schadeberekening in 1981 en latere jaren te hanteren prijzen worden jaarlijks door de commissie vastgesteld op basis van gegevens verstrekt door het Consulentenschap in Algemene Dienst voor Veevoeding.

4.4. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

- Voor het berekenen van de schade wordt ervan uitgegaan dat de grondgebruiker door aanpassingen in de bedrijfsvoering de schade als gevolg van de wateronttrekking zo beperkt mogelijk tracht te houden. Hierbij wordt aangenomen dat deze aanpassingen uitsluitend plaatsvinden binnen de grenzen van de aanwezige bedrijfsstructuur.
- Behalve bij tuinbouwbedrijven komt schadeberekening op basis van de kosten van compenserende maatregelen (in casu berekening) thans slechts in incidentele gevallen voor. Het is evenwel niet uitgesloten dat op grond van toekomstige ontwikkelingen in de bedrijfsvoering ook voor akkerbouw- en veehouderijbedrijven schadeberekening op basis van kosten van berekening in toenemende mate de voorkeur verdient.
- In geval van produktiederving bij vollegronds tuinbouwgewassen wordt de schadevergoeding in principe berekend op basis van de extra kosten van aanvullende watervoorziening door middel van berekening of bevoeiing. In gevallen waarbij kunstmatige watervoorziening om teelttechnische of andere redenen niet mogelijk is, wordt de schade bepaald op basis van de telersprijs van het gederfde produkt.
- De schadevergoeding voor akkerbouwgewassen kan goed worden berekend op basis van de telersprijs van het gederfde produkt.
De voor de schadeberekening te hanteren prijzen voor akkerbouw en tuinbouwprodukten kunnen worden ontleend aan gegevens van het PAGV en/of het LEI. In principe wordt voor de berekening van de schade over een langere periode de gemiddelde opbrengstprijs per ha van het volledige bouwplan gehanteerd.
- Berekening van de schade op basis van de kosten van aankoop van vervangende produkten is voor veehouderijbedrijven goed toepasbaar. Deze benadering ligt ook ten grondslag aan het merendeel van de reeds van kracht zijnde schaderegelingen. Hierbij is veelal aangenomen dat ruw- en krachtvoer in gelijke delen wordt aangekocht. Het verdient aanbeveling de hoeveelheden aan te kopen ruwvoer en krachtvoer en de onderlinge verdeling in de situatie zonder en met wateronttrekking te berekenen met behulp van een door het PR ontwikkeld rekenmodel.

- Een nadeel van eerdergenoemde methode is dat de bedrijfsvoering grotendeels buiten beschouwing blijft. Een voordeel is evenwel dat de methode eenvoudig en overzichtelijk is, en dat voor de berekening van de schade relatief weinig invoergegevens nodig zijn. Hierdoor is deze methode zowel voor de berekening van de reeds in voorgaande jaren geleden schade als voor de bepaling van de toekomstige schade goed bruikbaar.

- Bepaling van de schade op basis van een saldoberekening per koe is slechts relevant indien de produktiedaling van het grasland zo groot is dat het melkvee 's zomers onvoldoende weidegras ter beschikking heeft. Toepassing van deze methode van schadeberekening vindt uitsluitend plaats in combinatie met de methode gebaseerd op aankoop van vervangend ruwvoer en krachtvoer.

- De voor de schadeberekening op veehouderijbedrijven benodigde bedrijfstechnische gegevens kunnen worden betrokken van het LEI, het CBS en de Directie LaVo in de betreffende provincie. De te hanteren prijzen van ruwvoer en krachtvoer in de periode 1950 tot en met 1980 kunnen worden ontleend aan tabel 21.
Voor 1981 en latere jaren worden de prijzen van ruw- en krachtvoer jaarlijks door de CoGroWa vast gesteld op basis van gegevens verstrekt door het Consulentenschap in Algemene Dienst voor Veevoeding.

- Berekening van de schade op basis van de kostprijs van het gederfde produkt geeft niet de werkelijk geleden schade weer. Toepassing van deze methode voor de berekening van schade ten gevolge van wateronttrekking wordt ontraden.

- Voor veehouderijbedrijven kan de schade het meest nauwkeurig worden berekend door het effect van de produktievermindering op het arbeidsinkomen in bedrijfsverband te bepalen. Alle aspecten van de bedrijfsvoering worden dan in beschouwing genomen. Een nadeel is echter dat het veel tijd zal vergen om deze methoden toepasbaar te maken voor berekening van schadevergoedingen. Bovendien is deze methode voor de belanghebbenden weinig doorzichtig en zijn voor de berekening relatief veel invoergegevens vereist, met name bij berekening van de schade van jaar tot jaar.

- Het verdient aanbeveling de mogelijkheden om de produktieverandering als gevolg van wateronttrekking in bedrijfsverband te berekenen nader te onderzoeken, met name met betrekking tot het vaststellen van in de toekomst te lijden schade.

5. SCHADE MET BETREKKING TOT PARTICULIERE WATERVOORZIENING

5.1. INLEIDING

Enkele decennia geleden was een groot deel van de landbouwbedrijven voor de watervoorziening nog volledig aangewezen op eigen winningsmiddelen. Dit betrof zowel de watervoorziening voor huishoudelijk gebruik als voor gebruik in het bedrijf (veedrenking, reiniging etc.). Sindsdien is echter het waterleidingnet geleidelijk uitgebreid, waardoor het ook voor landbouwbedrijven mogelijk werd een aansluiting op het openbare waterleidingnet te verkrijgen. Op enkele uitzonderingen na zijn thans vrijwel alle landbouwbedrijven aangesloten op het openbare waterleidingnet. Het gebruik van de eigen winningsmiddelen is dientengevolge sterk verminderd, en beperkt zich hoofdzakelijk tot de drinkwatervoorziening van het bedrijf. Voor huishoudelijk gebruik wordt nagenoeg geen gebruik meer gemaakt van eigen winningsmiddelen.

De laatste jaren neemt het gebruik van eigen winningsmiddelen echter weer toe. Dit is met name het geval op veehouderijbedrijven, waar door uitbreiding van de veestapel de behoefte aan drinkwater en aan water voor reinigingswerk sterk is toegenomen. Door de stijgende exploitatiekosten van waterleidingbedrijven wordt de afleveringsprijs van leidingwater steeds hoger. Voor de individuele boer kan het dientengevolge financieel aantrekkelijk zijn om over een eigen watervoorzieningsinstallatie te beschikken.

Een ander gebied waarvoor de eigen watervoorziening een belangrijke rol speelt wordt gevormd door de kunstmatige watervoorziening van gewassen door middel van bevoeiing of beregening. Vooral sinds het midden van de zeventiger jaren is het aantal beregeningsinstallaties sterk uitgebreid. Oorzaken hiervoor zijn, behalve het optreden van grote droogte in de jaren 1975 en 1976, de ontwikkeling van beregeningsmethodieken en -apparatuur die minder arbeidsintensief zijn en de intensivering op met name veehouderijbedrijven, waardoor een voldoende hoge en regelmatige voederproduktie vereist is om de continuïteit in de bedrijfsvoering te waarborgen.

Voor beregening en bevoeiing wordt zowel gebruik gemaakt van oppervlaktewater (sloten, beken, kanalen) als van grondwater. Het gebruik van grondwater vindt hoofdzakelijk toepassing in de zandgebieden.

Een verlaging van de grondwaterstand kan tot gevolg hebben dat de winningsmiddelen niet of onvoldoende functioneren, waardoor schade wordt geleden. Door het KIWA (1981) zijn de methoden die ten grondslag liggen aan in het verleden opgestelde schadeberekeningen geïnventariseerd en beschreven.

De vraag of er schade wordt geleden en de mate waarin is sterk afhankelijk van de aard van de installatie c.q. het winningsmiddel en het doel waarvoor het wordt gebruikt. In 5.2. is een beschrijving gegeven van verschillende typen winningsmiddelen en van het gebruik hiervan. Het principe van de winningsmiddelen is schematisch weergegeven in figuur 5.1. Vervolgens worden in 5.3. de belangrijkste uitgangspunten besproken die gebruikt worden voor de berekening van de schade. In 5.4. is uiteengezet op welke wijze de schade gekwantificeerd wordt. In 5.5. ten slotte zijn de belangrijkste conclusies samengevat.

5.2. **BESCHRIJVING VAN DE WINNINGSMIDDELEN EN HET GEBRUIK**

5.2.1. Winning vanuit oppervlaktewater

Watervoorziening vanuit het oppervlaktewater vindt plaats ten behoeve van de veedrenking in de weideperiode en voor beregening. Bij de veedrenking kan nog onderscheid worden gemaakt tussen een situatie waarbij het vee zonder technische hulpmiddelen in de waterbehoefte voorziet en een situatie waarbij gebruik gemaakt van een zelfaanzuigende weidepomp. De eerstgenoemde situatie wordt veelal aangetroffen bij aanwezigheid van ondiepe sloten, drinkkolken, dobben etc. Bij diepere sloten of beken wordt meestal een weidepomp gebruikt.

Bij beregening wordt het water opgepompt middels een aanzuigpomp.

5.2.2. Waterputten

Hieronder worden verstaan gemetselde putten of putten opgetrokken uit een aantal gestapelde betonnen ringen. De diameter van deze putten varieert van ca. 0.80 tot 1.20 m. Het zijn doorgaans oudere putten die met name voorkomen in de zandgebieden, waar ze dienen voor de veedrenking in de weideperiode. Hierbij wordt gebruik gemaakt van één of meerdere weidepompen. De diepte van de putten varieert, afhankelijk van de diepte waarop het freatisch vlak voorkomt, van ca. 2 tot ca. 5 à 6 m. Alhoewel de waterputten overwegend in het veld voorkomen, wor-

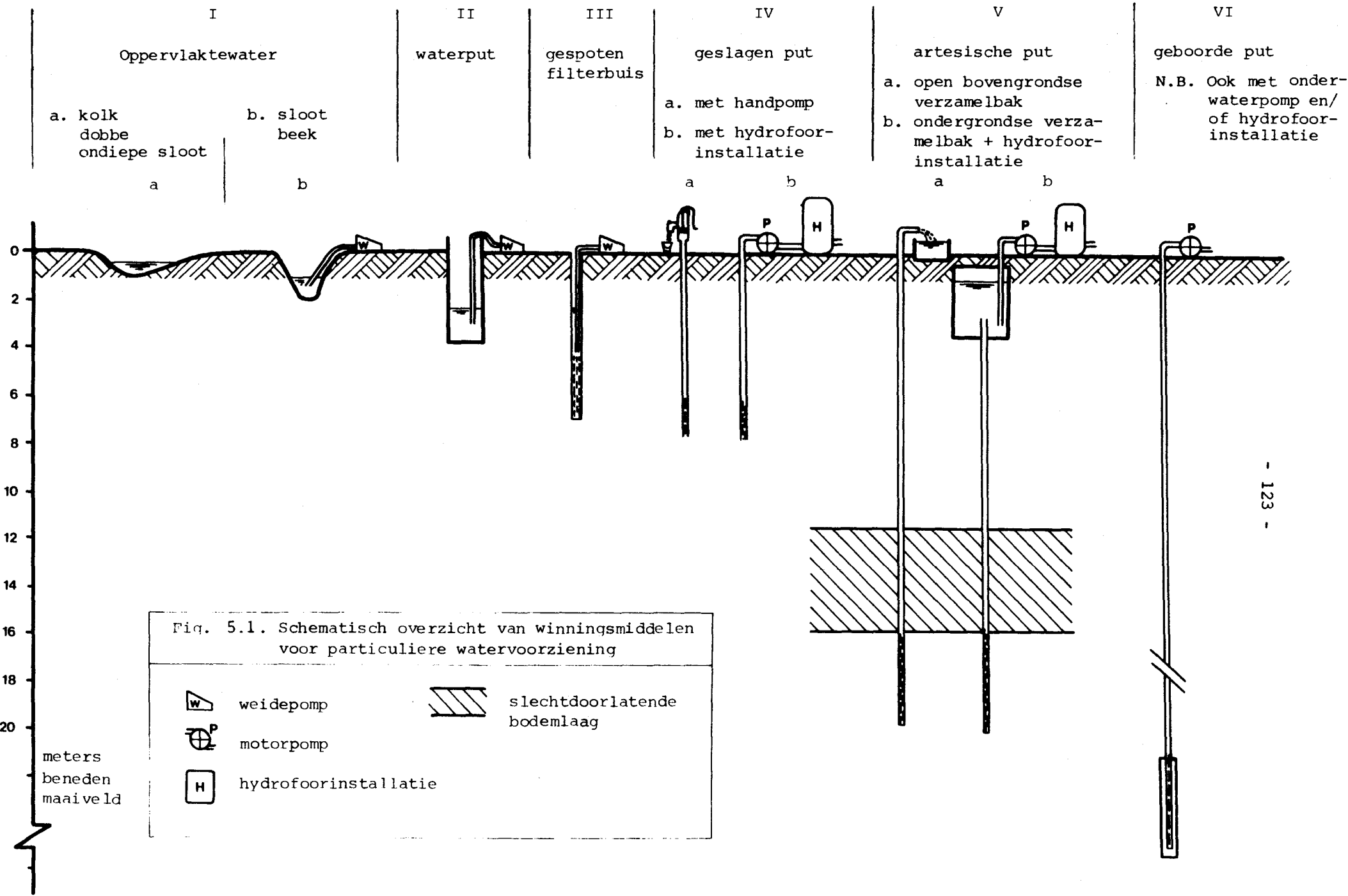






Fig. 5.1. Schematisch overzicht van winningsmiddelen voor particuliere watervoorziening

- | | | | |
|---|----------------------|---|------------------------------|
|  | weidepomp |  | slecht doorlatende bodemlaag |
|  | motorpomp | | |
|  | hydrofoorinstallatie | | |

den ze ook wel op het erf bij de boerderij aangetroffen waar ze vroeger dienst deden voor de watervoorziening van zowel de huishouding als het bedrijf.

5.2.3. Gespoten filterbuis

De gespoten filterbuis vindt toepassing sinds het eind van de zestiger, begin zeventiger jaren. De voorziening bestaat uit een ca. 5 à 10 m lange plastic pijp met een doorsnede van 5 à 10 cm, waarvan het onderste deel over een bepaalde lengte is geperforeerd. Soms is de buis over de volledige lengte geperforeerd. De buis wordt in een in de grond gespoten gat geplaatst. Veelal wordt hierbij gebruik gemaakt van een hoge druk mengmesttank. De filterbuis vindt hoofdzakelijk toepassing voor veedrenking in de weideperiode waarbij gebruik wordt gemaakt van een weidepomp. De filterbuis kan worden beschouwd als een moderne uitvoering van de hierboven beschreven waterput.

5.2.4. Geslagen putten (puntstuk)

Onder een geslagen put - veelal aangeduid als puntstuk of norton (put) - wordt verstaan een metalen buis, waarvan het onderste deel over een bepaalde lengte is geperforeerd en die onderaan is voorzien van een punt. De buis, met een doorsnede van ca. 5 cm werd in de grond geslagen waarna er aan de bovenzijde een handpomp (zwengelpomp) of een motorpomp (nortonpomp) op werd aangesloten. De diepte van het filter varieerde, afhankelijk van het voorkomen van goed waterdoorlatende lagen, van enkele meters tot ca. 10 m beneden maaiveld. Geslagen putten werden vóór de aansluiting op het waterleidingnet vrij algemeen toegepast voor zowel de watervoorziening van het bedrijf als voor huishoudelijk gebruik. Hierbij werd veelal gebruik gemaakt van een zogenaamde hydrofoorinstallatie. Dit is een installatie (reservoir) waarin het opgepompte water onder druk gebracht wordt. Van hieruit wordt het water naar de verschillende aftappunten (kranen, automatische drinkbakjes) over het bedrijf gedistribueerd. Ook voor de drinkwatervoorziening van het vee in de weideperiode werd soms gebruik gemaakt van in het weiland geslagen putten.

Zoals in de inleiding reeds is vermeld wordt de laatste jaren met name op veehouderijbedrijven weer in toenemende mate gebruik gemaakt van een eigen watervoorziening. Hierbij wordt in sommige gevallen gebruik gemaakt van nog aanwezige, geslagen putten in combinatie met een hydrofoorinstallatie.

5.2.5. Artesische putten (welput)

Bij artesische putten wordt gebruik gemaakt van de overdruk van het grondwater in de watervoerende laag beneden een kleilaag die slecht water doorlaat. Als voorbeeld voor een dergelijke situatie kan worden genoemd de Gelderse Vallei waar de stijghoogte van het grondwater in de bodemlaag beneden de Eemklei op sommige plaatsen tot boven het maaiveld reikt. Ten behoeve van de watervoorziening wordt een metalen buis, waarvan het onderste deel is geperforeerd, tot onder de slechtdoorlatende laag geplaatst. Door de overdruk stroomt het grondwater aan de bovenzijde uit de stijgbuis, in een verzamelbak of put. Voor de veedrenking in de weideperiode wordt meestal gebruik gemaakt van open verzamelbakken. Indien de stijghoogte van het grondwater niet boven het maaiveld reikt wordt het maaiveld ter plaatse soms iets verlaagd of wordt gebruik gemaakt van een verdiept opgestelde bak waaruit het water met behulp van een weidepomp wordt opgepompt. Voor de watervoorziening van het bedrijf - en vóór de aansluiting van het openbare waterleidingnet ook van de huishouding - wordt meestal een ondergrondse verzamelbak toegepast in combinatie met een pomp en een hydrofoorinstallatie. De filterdiepte bij artesische putten is afhankelijk van de diepte van de onderkant van de slechtdoorlatende laag. Over het algemeen worden artesische putten uitgevoerd tot een diepte van maximaal enkele tientallen meters.

5.2.6. Geboorde putten

Geboorde putten worden toegepast voor doeleinden waarvoor een grote capaciteit nodig is zoals bijvoorbeeld de openbare drinkwatervoorziening en de industriële watervoorziening. In de landbouw worden geboorde putten voornamelijk gebruikt voor beregening. Voor het oppompen van water wordt gebruik gemaakt van zuigpompen of van onderwaterpompen. De diepte van geboorde putten varieert, afhankelijk van het voorkomen van min of meer grofzandige watervoerende pakketten en de vereiste kwaliteit van het op te pompen water, van enkele tientallen meters tot meer dan 100 m.

5.3. UITGANGSPUNTEN VOOR DE BEREKENING VAN DE SCHADE

5.3.1. Algemene uitgangspunten

Indien door verlaging van de grondwaterstand de eigen watervoorziening niet meer of onvoldoende functioneert zullen door de gebruiker ondervangende maatregelen worden getroffen om de watervoorziening veilig te stellen. De schade wordt dan bepaald door de kosten van deze maatregelen vermeerderd met het eventuele verschil in exploitatiekosten van de watervoorziening in de oorspronkelijke situatie en in de situatie na het treffen van de ondervangende maatregelen. Daarnaast dient de eventuele aanloopschade of beginschade te worden vergoed. Hieronder wordt verstaan de schade die wordt geleden in de periode voordat tot het treffen van ondervangende of compenserende maatregelen wordt overgegaan.

Doordat de wateronttrekking op winplaatsen ten behoeve van de openbare watervoorziening veelal geleidelijk toeneemt, neemt ook de invloed hiervan op de grondwaterstand geleidelijk toe. Mede door de van nature optredende fluctuaties in de grondwaterstand, zowel binnen het jaar als tussen de jaren onderling, zal een geleidelijk toenemende, kunstmatige verlaging van de grondwaterstand niet terstond als zodanig onderkend worden. Schade als gevolg van een kunstmatige verlaging van de grondwaterstand realiseert men zich doorgaans pas enige tijd nadat de schade is ontstaan. Gedurende deze periode worden, op grond van de verwachting dat de problemen van tijdelijke aard zijn, meestal provisorische maatregelen getroffen om in de waterbehoefte te voorzien. De kosten hiervan dienen niettemin bij het vaststellen van de schadevergoeding mede in beschouwing te worden genomen. Arbitrair wordt aangenomen dat meer definitieve maatregelen ter ondervanging van de schade worden genomen na verloop van twee jaar na het ontstaan van de schade, tenzij duidelijk aantoonbaar is dat provisorische maatregelen reeds lang bestaan.

5.3.2. Grootte van de verlaging

Aangenomen mag worden dat bij de aanleg van winningsmiddelen rekening wordt gehouden met zowel de grondwaterstandsdiepte als de fluctuatie van de grondwaterstand. Dit geldt met name voor de relatief ondiepe winningsmiddelen, zoals drinkkolken, waterputten en gespoten filterbuizen alsook voor artesische putten. Op grond hiervan mag worden verwacht dat de winningsmiddelen zijn aangelegd met een zekere overdiepte waardoor bij een geringe kunstmatige verlaging deze win-

ningsmiddelen niet volledig onbruikbaar worden. De kans dat de eigen watervoorziening niet meer functioneert neemt echter toe, vooral in jaren met van nature lage grondwaterstanden. Arbitrair wordt daarom gesteld dat bij een kunstmatige verlaging van minder dan 25 cm aan het eind van de zomer de schade voor de eigen watervoorziening de helft bedraagt van de berekende schade bij een verlaging van meer dan 25 cm.

5.3.3. Ondervangende maatregelen

De aard van de te treffen ondervangende maatregelen om de watervoorziening veilig te stellen is afhankelijk van het type winningsmiddel, de diepte en de fluctuatie van de grondwaterstand en het gebruik van het water. Op basis van het laatstgenoemde criterium zijn in het onderstaande een drietal gebruiksdoeleinden onderscheiden en zijn de belangrijkste ondervangende maatregelen in beschouwing genomen.

Het is denkbaar dat getroffen maatregelen ter ondervanging van de nadelige effecten van een kunstmatige verlaging van de grondwaterstand na verloop van tijd niet meer afdoende blijken voor het veiligstellen van de watervoorziening, zodat opnieuw maatregelen nodig zijn. Dit kan met name het geval zijn bij een toename van de grondwaterstandsverlaging als gevolg van een grotere onttrekking. Voor het berekenen van de schade wordt er evenwel vanuit gegaan dat bij het treffen van ondervangende maatregelen men zich niet uitsluitend baseert op de grootte van de kunstmatige verlaging op dat moment, doch hierbij eveneens rekening houdt met een eventuele toename van de verlaging. Uitgangspunt zal moeten zijn de te verwachten grondwaterstandsverlaging bij een onttrekking overeenkomend met de hoeveelheid die volgens de bestaande vergunning maximaal is toegestaan.

Veedrenking in de weideperiode

Ten behoeve van de drinkwatervoorziening van het vee in de weideperiode wordt overwegend gebruik gemaakt van relatief ondiepe winningsmiddelen (kolk, sloot, waterput en gespoten filterbuis). Een uitzondering wordt gevormd door de artesische put, die in bepaalde gebieden ook veelvuldig gebruikt wordt voor de veedrenking in de weideperiode. Een kunstmatige verlaging van de grondwaterstand kan het droogvallen van het winningsmiddel, dan wel het ontstaan van een onvolgende waterdiepte hierin tot gevolg hebben. Artesische putten met een open

bovengrondse verzamelbak die tengevolge van een verlaging van de stijghoogte niet meer of onvoldoende functioneren zijn in dit opzicht vergelijkbaar met bovengenoemde ondiepe winningsmiddelen. Behalve voor het winningsmiddel zelf kan een verlaging van de grondwaterstand ook een nadelig effect hebben op het functioneren van de technische hulpmiddelen, in casu de weidepomp, door een toename van de opvoerhoogte. De praktische bruikbaarheid van weidepompen neemt sterk af bij een opvoerhoogte van meer dan 4 à 5 m. Rekening houdend met een zekere afpompings in de waterput of filterbuis en de van jaar tot jaar optredende afwijkingen in de grondwaterstand ten opzichte van het gemiddelde, wordt voor de berekening van de schade aan veedrenkputten als uitgangspunt genomen dat in situaties waarbij de gemiddelde laagste grondwaterstand (GLG) zich op een diepte van > 3,5 m beneden het maaiveld bevindt, de weidepomp niet meer functioneert.

De maatregelen die getroffen kunnen worden om bij een verlaging van de grondwaterstand de drinkwatervoorziening van het vee veilig te stellen zijn:

- a) verdieping van sloot, kolk of waterput c.q. verlaging uitstroomopening artesische put;
- b) vervanging door gespoten filterbuis;
- c) aansluiting op waterleidingnet.

Ad a

De maatregelen genoemd onder a werden in het verleden (vóór 1970) vrij algemeen toegepast. Thans worden deze maatregelen nog slechts toegepast bij een beperkte verlaging van de grondwaterstand. Op grond van technische en/of financiële argumenten verdienen bij een wat grotere verlaging de maatregelen genoemd onder b of c de voorkeur. Verdieping van de sloot of put c.q. verlaging van de uitstroomopening van artesische putten kan dan ook niet gezien worden als een afdoende maatregel om de veedrenking in de weideperiode veilig te stellen, doch dient veeleer te worden beschouwd als een provisorische maatregel in de periode voordat tot een definitieve ondervanging wordt overgegaan.

Ad b

Sinds het eind van de zestiger, begin zeventiger jaren worden niet of onvoldoende functionerende waterwinningsmiddelen voor de veedrenking in de weideperiode

veelal vervangen door een gespoten filterbuis. De installatie hiervan is technisch eenvoudig en relatief goedkoop. In het geval er in de oorspronkelijke situatie geen gebruik werd gemaakt van weidepompen dient bij het vaststellen van de schadevergoeding mede de aanschaf van één of meerdere weidepompen te worden betrokken. Gerekend dient te worden met 1 weidepomp per 20 koeien. Gelet op de effectieve opvoerhoogte van weidepompjes komt ondervanging door middel van een gespoten filterbuis slechts in aanmerking bij een GLG ondieper dan 3,5 m beneden maaiveld.

Ad c

Aansluiting op het waterleidingnet verdient aanbeveling indien de GLG zich op een diepte van > 3,5 m beneden het maaiveld bevindt. De drinkwatervoorziening in de percelen kan hierbij bestaan uit automatische drinkbakjes of uit een open reservoir (veelal de bestaande drinkbak) dat gevuld wordt met behulp van een waterleidingslang voorzien van een vlottersysteem. Het waterleidingnet dat hiervoor wordt gebruikt kan zowel het openbare waterleidingnet zijn als het eigen waterleidingsstelsel aangesloten op een bestaande of te installeren hydrofoorinstallatie. In geval van aansluiting op het openbare waterleidingnet dienen de exploitatiekosten (waterkosten, vastrecht, meterkosten, incl. B.T.W.) bij de berekening van de schadevergoeding mede in beschouwing te worden genomen. Gelet op de grotere bedrijfszekerheid en de lagere onderhouds- en afschrijvingskosten bij aansluiting op het waterleidingnet wordt evenwel slechts de helft van de exploitatiekosten als schade aangemerkt.

Watervoorziening van het bedrijf

Voor de watervoorziening van het bedrijf wordt bij de eigen watervoorziening meestal gebruik gemaakt van geslagen putten of artesische putten. Deze winningsmiddelen zijn vaak voorzien van een pomp en een hydrofoorinstallatie. Door de grotere diepte van deze winningsmiddelen is de kans dat deze putten droog vallen bij een verlaging van de grondwaterstand te verwaarlozen. Bij artesische putten kan de aanzuigpijp van de waterpomp desgewenst rechtstreeks op de uitstroomopening van de artesische put worden aangesloten. Bij recent geïnstalleerde winningsmiddelen wordt voor de watervoorziening van het bedrijf ook wel gebruik gemaakt van geboorde putten.

De problemen die zich voor kunnen doen bij een verlaging van de grondwaterstand of stijghoogte van het grondwater bestaan uit een verminderde capaciteit van de pomp als gevolg van een grotere opvoerhoogte.

De theoretische opvoerhoogte van een zuigpomp bedraagt 10 meter. Door wrijvingsverliezen en technische beperkingen van de pompinstallatie is de effectieve opvoerhoogte echter beperkt tot maximaal 6 à 7 m (gemiddeld 6,5 m). Door de geringe diameter van de stijgbuis van zowel geslagen putten als artesische putten is de afpompingsdruk in de put bij onttrekking relatief groot. Ofschoon hierin van plaats tot plaats - afhankelijk van de doorlatendheid van de bodem, de weerstand van het filter en de diameter van de stijgbuis - grote verschillen kunnen voorkomen, wordt bij de berekening van de schade uitgegaan van een afpompingsdruk van gemiddeld 0,5 à 1,0 m. Indien daarnaast rekening wordt gehouden met de jaarlijkse verschillen in het grondwaterniveau ten opzichte van het langjarig gemiddelde, kan worden gesteld dat deze installaties hun praktische bruikbaarheid verliezen in situaties waarbij het GLG niveau zich op een diepte van > 5 beneden de opstelling van de pomp bevindt.

Als mogelijke ondervangende of compenserende maatregelen bij een verlaging van de grondwaterstand kunnen worden genoemd:

- a) verlaagde opstelling van de pomp;
- b) installatie van een onderwaterpomp;
- c) aansluiting op het openbare waterleidingnet.

Ad a

Door een verlaging van de opstelling van de aanzuigpomp kunnen nadelige gevolgen van de grondwaterstandsverlaging vrijwel volledig worden ondervangen. Een verlaagde opstelling is mogelijk tot ca. 2,5 m beneden het maaiveld. Een nog lagere opstelling geeft problemen in bouwkundig opzicht, terwijl de bereikbaarheid van de pomp sterk wordt bemoeilijkt. Gelet op het hiervoor genoemde niveau van de GLG waar beneden de pomp zijn bruikbaarheid verliest, kan worden gesteld dat een verlaagde opstelling van de pomp uitkomst kan bieden tot een GLG niveau van maximaal 7,5 m beneden het maaiveld.

Ad b

Installatie van een onderwaterpomp is alleen mogelijk indien de stijgbuis van de put een voldoende grote diameter heeft. Bij de geslagen putten en de artesische putten, die veelal van oudere datum zijn, is dit zelden het geval. In moderne, geboorde putten kan meestal wel een onderwaterpomp worden geïnstalleerd. De keuze of een bestaande zuigpomp verlaagd wordt opgesteld dan wel of een onderwaterpomp wordt gebruikt is in dit geval behalve van het GLG niveau zeer sterk afhankelijk van de plaatselijke omstandigheden. Algemene richtlijnen zijn hiervoor niet te geven.

Ad c

Indien de maatregelen genoemd onder a en b geen oplossing bieden resteert alleen nog aansluiting op het openbare waterleidingnet. In principe wordt de schade in dit geval bepaald door de kosten van het water (incl. meterkosten, vastrecht en B.T.W.) verminderd met de besparing op de jaarlijkse kosten van de oorspronkelijk aanwezige eigen watervoorziening (rente, afschrijving, onderhoud- en energiekosten). Deze besparing kan sterk variëren afhankelijk van de aard van de eigen winningsmiddelen en het gebruik. Als norm hiervoor wordt arbitrair een bedrag ter grootte van 50% van de waterkosten als hierboven genoemd, aangehouden.

Berekening

Voor zover berekening plaatsvindt vanuit het grondwater wordt hiertoe overwegend gebruik gemaakt van geboorde putten. Voor het oppompen van het grondwater worden zowel zuigpompen als perspompen (onderwaterpompen) gebruikt. De diepte waarop de onderwaterpompen worden geplaatst is afhankelijk van de stijghoogte van het grondwater in de put en de afpompingshoogte tijdens het pompen. Eventuele nadelige effecten van een kunstmatige verlaging van de grondwaterstand kunnen op technische eenvoudige wijze worden ondervangen door de onderwaterpomp lager te hangen, indien althans de diameter van de pompput voldoende groot is. Ten aanzien van zuigpompen geldt hetzelfde als hiervoor bij de watervoorziening van het bedrijf is vermeld onder ad a. Bij een GLG niveau $> 7,5$ m beneden het maaiveld verdient het aanbeveling de zuigpomp te vervangen door een onderwaterpomp. Is dit vanwege de constructie van de put niet mogelijk, dan is de put in feite onbruikbaar geworden en dient een nieuwe put geboord te worden.

5.4. KWANTIFICERING VAN DE SCHADE

5.4.1. Kosten van ondervangende maatregelen

Voor de kwantificering van de schade kan de vergoeding voor het treffen van ondervangende maatregelen worden vastgesteld op basis van de werkelijk gemaakte kosten (volgens te overleggen rekeningen) of op basis van normbedragen. De eerstgenoemde methode verdient de voorkeur. Indien de werkelijke kosten echter niet (meer) bekend zijn zal van een normbedrag uitgegaan moeten worden. In tabel 22 zijn hiertoe arbitrair vastgestelde normbedragen gegeven voor de periode vanaf 1950. Ondanks dat de kosten van ondervangende maatregelen van geval tot geval sterk uiteen kunnen lopen, afhankelijk van onder andere de aard en constructie van de winningsmiddelen, de ligging ten opzichte van de bedrijfsgebouwen, de afstand tot het openbare waterleidingnet, de gebruiksdoeleinden van het water etc., is uit praktische overwegingen in deze tabel geen onderscheid gemaakt naar de aard van de te treffen voorziening.

De gegeven waarden dienen te worden gezien als een indicatie voor de gemiddelde vergoeding voor de kosten van getroffen of te treffen schadeondervangende maatregelen. Op grond van lokale omstandigheden kan evenwel van plaats tot plaats en van geval tot geval van deze norm worden afgeweken. Opgemerkt dient te worden dat bij installatie van een onderwaterpomp en bij vervanging door een geboorde put de in tabel 22 genoemde normbedragen niet toegepast mogen worden; hiervoor worden uitsluitend de werkelijke kosten als basis voor de schadevergoeding gehanteerd. De kosten voor de aanschaf van één of meerdere weidepompen voor de veedrenking zijn, voor zover deze als een onderdeel van een schade ondervangende maatregel kunnen worden aangemerkt, evenmin in de normbedragen opgenomen. Voor de volledigheid is in de laatste kolom van tabel 22 hiervoor een normbedrag opgenomen.

Voor het vaststellen van de schadevergoeding wordt er vanuit uitgegaan dat de ondervangende maatregelen zijn uitgevoerd twee jaar nadat de schade is ontstaan. Het is in dit verband niet relevant of de maatregelen wel of niet zijn uitgevoerd, tenzij de schade door één of andere oorzaak niet meer aanwezig is (bijvoorbeeld door omzetting van grasland in bouwland).

Tabel 22 Normbedragen voor de kosten van ondervangende maatregelen bij eigen watervoorziening en voor de aanschaf van een weidepomp.

Periode	Normbedrag kosten ondervangende maatregelen	Normbedrag kosten aanschaf weidepomp
1950 t/m 1959	f 100,--	f 100,--
1960 t/m 1969	- 160,--	- 140,--
1970 t/m 1974	- 180,--	- 200,--
1975 t/m 1979	- 200,--	- 300,--
vanaf 1980	- 220,--	- 360,--

5.4.2. Exploitatiekosten

De exploitatiekosten van een eigen watervoorziening kunnen worden onderverdeeld in:

- a) vaste kosten (rente, afschrijving en onderhoud van de winningsmiddelen);
- b) variabele kosten (energiekosten, waterkosten).

Ad a

De vaste kosten van de winningsmiddelen veranderen niet of nauwelijks door een verlaging van de grondwaterstand en spelen derhalve geen rol bij de schadeberekening. Een uitzondering hierop doet zich voor indien in het kader van de ondervangende maatregelen aanzienlijke investeringen in winningsmiddelen of installaties noodzakelijk zijn, waardoor de vaste kosten hoger komen te liggen dan in de oorspronkelijke situatie het geval was. Het verschil in vaste kosten dient in dit geval bij de bepaling van de schadevergoeding mee in beschouwing te worden genomen.

Ad b

Bij gebruikmaking van een eigen watervoorziening worden de variabele kosten voornamelijk bepaald door de energiekosten (elektriciteit, brandstof).

De energiekosten zijn afhankelijk van de opvoerhoogte van het water en de hoeveelheid op te pompen water. Door toename van de opvoerhoogte zullen de energiekosten per m³ opgepompt water stijgen. De grootte van deze stijging is onder andere afhankelijk van het type en rendement van de pomp, de oorspronkelijke opvoerhoogte en de grootte van de verlaging. Gelet op de relatief geringe invloed hiervan op de hoogte van de absolute schade wordt bij het bepalen van de schadevergoeding hiermee geen rekening gehouden.

De extra energiekosten als gevolg van een toename van de op te pompen hoeveelheid water, bijvoorbeeld doordat voor de veedrenking in de weideperiode ook gebruik moet worden gemaakt van de hydrofoorinstallatie, dienen wel deel uit te maken van schadevergoeding. Globaal kunnen deze energiekosten gesteld worden op f 0,10 per m³ (prijspeil 1982).

Bij aansluiting op het openbare waterleidingnet bestaan de variabele kosten uit de waterkosten (inclusief vastrecht, meterhuur en B.T.W.). Deze kosten variëren in Nederland van ca. f 0,75 tot f 2,00 per m³ (prijspeil 1982).

De bedrijfszekerheid bij een aansluiting op het waterleidingnet is echter groter dan bij gebruikmaking van eigen winningsmiddelen. Bovendien komen de exploitatiekosten van de eigen winningsmiddelen te vervallen. Op basis hiervan wordt in geval van aansluiting op het openbare waterleidingnet bij de schadeberekening slechts de helft van de waterkosten in rekening gebracht.

Het waterverbruik kan worden geregistreerd met behulp van een te installeren watermeter. Indien geen aparte meter is geplaatst dient het waterverbruik te worden geschat op basis van de aanvullende drinkwaterbehoefte van het vee en/of schattingen van het bedrijfsverbruik. De totale vochtbehoefte van een aantal veesoorten is weergegeven in tabel 23.

Een deel van deze vochtbehoefte wordt echter gedekt door de vochtopname uit het veevoer. De aanvullende drinkwaterbehoefte voor rundvee bedraagt per grootvee-eenheid (g.v.e.) gemiddeld 70 l per dag in de stalperiode en 40 l per dag in de weideperiode (Hop, 1982). Uitgaande van een veebezetting van 3 g.v.e. per ha en de aanname dat een waterput voor een oppervlakte van 2,5 ha in de veedrenking voorziet, kan worden berekend dat gedurende de weideperiode (200 dagen) een hoeveelheid van 8 m³ per g.v.e., 24 m³ per ha en 60 m³ per put wordt gebruikt.

Tabel 23 Vochtbehoefte in liters per dag (inclusief vocht uit veevoer) van rundvee, paarden, schapen en geiten (naar Hop, 1982).

Soort vee	Vochtbehoefte (l/dag)
Rundvee	
Droogstaand	30 - 60
Melkgevend - 10 kg melk/dag	30 - 60
Melkgevend - 20 kg melk/dag	70 - 100
Melkgevend - 30 kg melk/dag	90 - 150
Jongvee één tot twee jaar	15 - 35
Vleesvee	20 - 60
Kalveren	5 - 15
Paarden	25 - 50
Schapen	1,5 - 5
Geiten	2 - 6

5.4.3. Overige kosten

Hiertoe kan worden gerekend de schade die wordt geleden in de beginperiode (aanloopschade, beginschade) zoals vermeld in 5.3.1. De aanloopschade kan niet exact worden benaderd en zal van geval tot geval verschillen. Arbitrair zijn hiervoor de in tabel 24 vermelde normbedragen vastgesteld.

Deze bedragen kunnen worden gezien als een vergoeding voor de extra arbeid, ondervonden ongemakken en kosten van provisorische maatregelen in de periode voordat tot een definitieve ondervanging wordt overgegaan. De aanloopschade wordt per winningsmiddel slechts éénmaal vergoed, ook in gevallen waarin door toeneming van de verlaging meerdere malen ondervangende maatregelen moeten worden getroffen.

Tabel 24 Normbedragen voor de aanloopschade per winningsmiddel.

Periode	Normbedrag
1950 t/m 1959	f 250,--
1960 t/m 1969	- 350,--
1970 t/m 1974	- 400,--
1975 t/m 1979	- 500,--
vanaf 1980	- 600,--

5.5. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

- De schade als gevolg van het niet meer of onvoldoende functioneren van winningsmiddelen voor de particuliere watervoorziening wordt bepaald door:
 - . de kosten van de getroffen ondervangende maatregelen;
 - . het verschil in exploitatiekosten van de watervoorziening in de oorspronkelijke situatie en in de situatie na het treffen van de ondervangende maatregelen;
 - . de schade die wordt geleden in de periode voordat tot het treffen van ondervangende of compenserende maatregelen wordt overgegaan (aanloop-schade of beginschade).

- Bij de vaststelling van de schade wordt er vanuit gegaan dat bij geringe verlagingen van de grondwaterstand aan het eind van de zomer (< 25 cm) de schade de helft bedraagt van de berekende schade bij verlagingen van meer dan 25 cm.

- Ten behoeve van de veedrenking in de weideperiode kan de watervoorziening worden veiliggesteld door middel van een gespoten filterbuis, indien de GLG ondieper is dan 3,5 m beneden het maaiveld. In het geval de GLG dieper is dan 3,5 m beneden het maaiveld verdient aansluiting op het waterleidingnet aanbeveling.

- Voor de watervoorziening van het bedrijf alsook bij pompputten voor beregening kan de schade worden ondervangen door een verlaagde opstelling van de aanzuigpomp (indien GLG $< 7,5$ m beneden maaiveld), door installatie van een onderwaterpomp of door aansluiting op het openbare waterleidingnet. Bij pompputten voor beregening is in sommige gevallen vervanging van de pompput noodzakelijk.

- Vergoeding van schade voor de uitvoering van ondervangende maatregelen dient bij voorkeur plaats te vinden op basis van werkelijk gemaakte kosten. Indien de werkelijke kosten niet (meer) bekend zijn kan worden uitgegaan van de in tabel 22 gegeven normbedragen. Hierbij wordt ervan uitgegaan dat de ondervangende maatregelen zijn getroffen twee jaar nadat de schade is ontstaan.

- Schadevergoeding voor extra exploitatiekosten kan worden onderverdeeld in vergoeding voor verhoging van de vaste kosten en vergoeding voor toename van de variabele kosten. Vaste kosten (rente, afschrijving en onderhoud) komen uitsluitend voor vergoeding in aanmerking indien in het kader van de ondervangende maatregelen aanzienlijke investeringen in winningsmiddelen of installaties noodzakelijk zijn. Van de variabele kosten komen de extra energiekosten (brandstof, elektriciteit) volledig voor vergoeding in aanmerking; in geval van aansluiting op het openbare waterleidingnet worden de waterkosten voor de helft vergoed.

- Voor de benadering van de waterkosten voor de drinkwatervoorziening van het vee in de weideperiode kan het waterverbruik worden gesteld op 8 m³ per grootvee-eenheid, 24 m³ per ha of 60 m³ per put.

- De aanloopschade of beginschade wordt per winningsmiddel slechts éénmaal vergoed. Voor de bepaling van de schadevergoeding wordt uitgegaan van de in tabel 24 vermelde bedragen.

6. LANDBOUWKUNDIGE ASPECTEN BIJ VERGUNNINGAANVRAGEN

6.1. INLEIDING

Een grondwateronttrekking zal in de meeste gevallen gevolgen hebben voor andere bij de grondwaterstand betrokken belangen. In de Grondwaterwet Waterleidingbedrijven is een procedure van vergunningverlening opgenomen, waarin het belang van de drink- en industriewatervoorziening wordt afgewogen tegen deze andere belangen. Hetzelfde gebeurt in het kader van de provinciale grondwaterverordeningen, waarin de procedures van vergunningverlening voor onttrekking door industrieën, diensten, enz. alsmede van bronbemalingen geregeld zijn. De Grondwaterwet, welke binnen afzienbare tijd geheel in werking zal treden, handelt over alle onttrekkingen, zodat voor alle onttrekkingen boven een bepaalde omvang eenzelfde procedure gevolgd zal gaan worden.

Tot de bij de grondwaterstand betrokken belangen, die bij vele grondwateronttrekkingen beïnvloed zullen worden, behoren die van landbouw en natuur. Daarnaast kan er ook sprake zijn van beïnvloeding van andere grondwateronttrekkingen en van het optreden van zetting van bodemlagen (vooral veen en slappe klei), waarvan maaiveldsdaling en zettingsschade aan gebouwen een gevolg kan zijn.

In het kader van de belangenafweging is het gewenst, dat de gevolgen voor de afzonderlijke belangen zoveel mogelijk gekwantificeerd worden. Wat betreft de gevolgen voor de natuur zullen de onderzoeksmogelijkheden aangegeven worden door de Werkgroep Ecologische Aspecten. De Werkgroep Geohydrologische Aspecten geeft naast mogelijkheden van geohydrologische onderzoek, dat meestal een voorafgaande fase is van het onderzoek naar de gevolgen voor de afzonderlijke belangen, ook een beschouwing over grondmechanisch onderzoek ter onderbouwing van vergunningaanvragen. De onderzoeksmogelijkheden voor het kwantificeren van de gevolgen voor de landbouw zijn beschreven in voorliggend rapport.

Met het oog op de afweging van de belangen van landbouw en drinkwatervoorziening spelen een aantal factoren een rol. De belangrijkste factoren zijn:

- het totale schadebedrag in relatie tot de grootte van de grondwaterwinning (uit te drukken in cent/m³);

- de hoogte van de te verwachten opbrengstdepressies (treedt er op een kleine oppervlakte een grote schade op of over een grotere oppervlakte een kleine schade), in relatie met de betekenis van de landbouw in het beïnvloede gebied;
- de mogelijkheden van schadebeperkende maatregelen;
- het belang van de landbouw, nationaal-economisch bezien;
- het belang en de urgentie van de grondwaterwinning, vooral ook bezien tegen de achtergrond van eventuele alternatieven.

Er zijn geen niveaus aan te geven waar boven of waar beneden een winning wel of niet toelaatbaar geacht wordt. Het belang van de grondwaterwinning is immers per geval verschillend.

Wanneer de verwachte opbrengstdepressie gering is en de grondwaterwinning nodig is, zal over het algemeen positief over de aangevraagde vergunning geadviseerd en beslist worden.

Anders is dit wanneer er sprake is van aanzienlijke schade. In deze gevallen gaan de mogelijkheden van schadebeperkende maatregelen en van eventuele alternatieven een rol spelen. Wanneer niet in een breder regionaal kader de winningsmogelijkheden in relatie met onder meer het landbouwbelang onderzocht zijn, zal men zich als beoordelende instantie al snel afvragen of een alternatieve winplaatslokatie niet gunstiger is. Overigens zijn ook alternatieven denkbaar in de vorm van met het seizoen wisselende onttrekkingsdiepten en met het seizoen wisselen van onttrekking op meerdere winplaatsen, zoals bijvoorbeeld in Tubbergen toegepast wordt.

In het kader van het onderzoek naar de mogelijkheden voor het stichten van een waterwinplaats nabij Holten (Espelosebroek) is door een hiertoe ingestelde werkgroep een technisch plan ontworpen, waarbij de winplaats zodanig is ingericht, dat hiermee tevens de ontwatering van het gebied geregeld wordt. Ter voorkoming van droogteschade in het groeiseizoen is in dit plan de mogelijkheid tot wateraanvoer opgenomen.

In dit geval is er dus sprake van integratie van de belangen van landbouw en grondwaterwinning voor de drinkwatervoorziening. Wanneer derhalve plannen bestaan om in een bepaald gebied, waar de landbouwproductie gevoelig is voor veranderingen van de grondwaterstand, de grondwaterwinning uit te breiden, dan is het vaststellen van de optimale winplaatslokatie aan de hand van

de gevolgen voor de landbouw van essentieel belang. Uiteraard geldt voor de gevolgen voor de natuur hetzelfde, zodat geadviseerd kan worden beide belangen gelijktijdig bij een dergelijke regionale studie in beschouwing te nemen.

In het kader van de Grondwaterwet zullen de provinciale overheden verplicht worden tot het opstellen van grondwaterplannen. In deze plannen dienen onder meer uitspraken gedaan te worden over mogelijkheden om de grondwaterwinning uit te breiden. Het ligt voor de hand, dat regionale studies, waarin de potentiële winplaatslokaties aan de hand van de gevolgen voor andere belangen vastgesteld worden, hierin een belangrijke rol spelen.

6.2. ONDERZOEK NAAR DE GEVOLGEN VOOR DE LANDBOUWPRODUCTIE

In principe wijken de onderzoeksmethoden in dit kader weinig af van de methoden, zoals die in de voorgaande hoofdstukken beschreven zijn.

Er zijn geen berekeningsmethoden beschikbaar waarmee zowel de schade als gevolg van een toenemend vochttekort als het eventuele voordeel van een verminderde wateroverlast in één berekening uitgevoerd kunnen worden. In het kader van de HELP wordt door het ICW een dergelijke methode ontwikkeld. De vermindering van wateroverlast wordt op dit moment separaat vastgesteld waarna vervolgens als som van voordeel en nadeel een opbrengstverhoging of een opbrengstverlaging resulteert.

Over het algemeen worden in het kader van de belangenafweging de berekende opbrengstveranderingen gekwalificeerd in bijvoorbeeld de volgende klassen:

- aantal ha met voordeel
- aantal ha met minder dan 2% schade
- aantal ha met 2-5% schade
- aantal ha 5-10% schade
- aantal ha met meer dan 10% schade.

De uitwerking van de opbrengstdepressie gebeurt hier dus minder gedetailleerd dan in voorgaande hoofdstukken beschreven is. In dit kader is het interessant om een totaalbeeld te krijgen van de invloed van een voorgenomen waterwinning of uitbreiding hiervan op de landbouwproductie; de schade per perceel is van minder

belang. Omdat ten behoeve van vergunningaanvragen veelal hydrologische berekeningen uitgevoerd worden die een voorspellend karakter dragen en berusten op een extrapolatie van grondwaterstands dalingen bij een geringere onttrekking, kunnen de berekeningsresultaten minder betrouwbaar zijn dan bij de berekeningsresultaten gericht op voorstellen tot regeling van schade.

De Grondwaterwet Waterleidingbedrijven en ook de Grondwaterwet schrijven voor, dat de aanvrager van een vergunning voor grondwateronttrekking zodanige gegevens dient te verschaffen, dat de gevolgen van de beoogde winning aangegeven kunnen worden. Gebruikelijk is tot op heden, dat de vergunningaanvrager in ieder geval zorg draagt voor gedegen onderzoeksresultaten naar de hydrologische invloed van de voorgestane ingreep. Het is echter nog zelden voorgekomen dat in opdracht van bedrijven bodemkarteringen werden uitgevoerd ter verkrijging van de informatie die nodig is om de recent ontwikkelde, geavanceerde rekenmethoden toe te kunnen passen. Uitbreiding van het onderzoek ter onderbouwing van vergunningaanvragen in deze richting is wenselijk.

Voor het kwantificeren van de gevolgen voor de landbouwproductie zouden de volgende gegevens beschikbaar moeten zijn:

- een berekening van de te verwachten verlagingen van de freatische grondwaterstand en het verloop hiervan in de tijd;
- een bodem-/grondwatertrappenkaart, die opgenomen is bij de heersende waterhuishoudkundige situatie en waarvan de schaal bij voorkeur 1:25.000 is. De bodemkaart dient gegevens te bevatten over het deel van de bodem dat zich bevindt tussen maaiveld en de diepst voorkomende grondwaterstanden. Over dit deel moet de profielopbouw bekend zijn, alsmede de dikte en de vochtkarakteristiek van de wortelzone. Van het overige deel van de onverzadigde zone is vooral het capillair geleidingsvermogen van belang;
- een bodemgebruikskaart met de indeling bouwland, grasland, tuinbouw en bijzondere teelten.

Aan de hand van genoemde gegevens is het mogelijk met behulp van de in de voorgaande hoofdstukken beschreven methoden de verandering van de landbouwproductie te ramen.

Vooral wanneer er sprake is van aanzienlijke opbrengstdervingen kan het zinvol zijn het onderzoek uit te breiden met een onderzoek naar mogelijkheden van schadebeperkende maatregelen. Ten aanzien van opbrengstdepressies van de landbouwproduktie zullen deze maatregelen vrijwel altijd gericht zijn op aanvullende watervoorziening door aanvoer van oppervlaktewater, waarmee vooral de omvang van het door de grondwaterwinning beïnvloede gebied beperkt kan worden en ook ruimere mogelijkheden geschapen kunnen worden om beregening toe te passen. In principe kan ook profielverbetering een schadebeperkende maatregel zijn. Dit is alleen het geval wanneer de effectieve wortelzone en daarmee ook het vochtbergend vermogen van het bodemprofiel vergroot worden.

Aanbevolen kan worden om alvorens onderzoekopdrachten te verstrekken overleg te plegen met degenen, die vergunningaanvragen beoordelen, om een zo efficiënt en zinvol mogelijke aanvulling van eventueel bestaande gegevens te bewerkstelligen.

6.3. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

- Bij advisering met betrekking tot vergunningaanvragen worden de belangen van de drinkwatervoorziening afgewogen tegen de overige belangen, waaronder die van de landbouw. In deze afweging spelen ook de mogelijkheden van schadebeperkende maatregelen en van eventuele alternatieven voor de voorgenomen grondwateronttrekking een rol.
- Aangezien het belang van grondwaterwinning per geval kan verschillen, zijn er ten aanzien van het landbouwbelang geen niveaus aan te geven waarboven of waarbeneden een winning wel of niet toelaatbaar wordt geacht.
- In ontwateringsbehoeftegebieden kunnen door toepassing van een bepaalde onttrekkingsstrategie de belangen van de landbouw en van de drinkwatervoorziening worden geïntegreerd. Eventueel kunnen hierin ook de mogelijkheden van wateraanvoer worden betrokken.
- De berekening van de gevolgen van een grondwaterwinning voor de landbouw ten behoeve van vergunningaanvragen wordt in principe op dezelfde wijze uitgevoerd als bij aanspraken op schadevergoeding.
Bij vergunningaanvragen kan echter met een minder gedetailleerde uitwerking volstaan worden. De eventuele landbouwschade wordt geclassificeerd naar de hoogte van het schadepercentage en de oppervlakte, waarover deze wordt verwacht.
- Het aangeven van de gevolgen voor de landbouw bij vergunningaanvragen vindt veelal plaats aan de hand van voorspellende hydrologische berekeningen die berusten op een extrapolatie van grondwaterstands dalingen bij een geringere onttrekking (zie ook conclusies en aanbevelingen van hoofdstuk 1).
- Teneinde de landbouwkundige gevolgen van een voorgenomen onttrekking te kunnen bepalen, zijn naast gegevens omtrent de te verwachten verlagingen van de grondwaterstand en het verloop hiervan in de tijd, gegevens over de heersende bodemkundige en waterhuishoudkundige situatie nodig, alsmede een globale bodemgebruikskaart.
In geval er sprake is van aanzienlijke landbouwschade, is een onderzoek naar de mogelijkheden van schadebeperkende maatregelen wenselijk.

- Teneinde een zo efficiënt en zinvol mogelijke aanvulling van bestaande gegevens te bewerkstelligen verdient het aanbeveling dat de aanvrager voorafgaand aan het verstrekken van onderzoeksopdrachten overleg pleegt met de adviserende instanties.

LITERATUURVERZICHT

- 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.
- 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.
- Bakel, J. van, 1978.
Verdamping in relatie tot bodem en gewas. Basisrapport Commissie Bestudering Waterhuishouding Gelderland. Ook ICW nota 1122, Wageningen.
- Bakker, G., 1984.
Onderzoek naar de omvang van de grondwaterstandsverlaging als gevolg van de grondwaterwinning te Wierden en te Hooge Hexel. Technisch Secretariaat CoGroWa GW 361/569.
- Bakker, H. de, en J. Schelling, 1966.
Systeem van bodemclassificatie voor Nederland. Pudoc, Wageningen.
- 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 (1983): pp 271-286.
- 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. ICW nota 1978, 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: pp 259-270.
- Bloemen, G.W., 1980 a.
Calculation of hydraulic conductivities of soils from texture and organic matter content. Zeitschr. für Pflanzenern. und Bodenk. 143, Heft 5: pp 581-605. Ook: ICW Techn. Bul. 120, Wageningen.
- Bloemen, G.W., 1980 b.
Calculation of steady state capillary rise from the groundwater table in multi-layered soil profiles. Zeitschr. für Pflanzenern. und Bodenk. 143, Heft 6: pp 701-719. Ook: ICW Techn. Bul. 121, Wageningen.
- Bloemen, G.W., 1981.
The calculation of hydraulic conductivities and capillary rise in peat soils from bulk density and solid matter volume. Zeitschr. für Pflanzenern. und Bodenk. (in voorbereiding). Ook: ICW nota 1291, Wageningen, 1981.
- Bloemen, G.W., 1982.
De capillaire eigenschappen van de gronden in het wateraanvoergebied "De Monden". ICW nota 1332, Wageningen.
- Boekel, P., 1973.
De betekenis van de ontwatering voor de bodemstructuur op de zavel- en lichte kleigronden. Inst. voor Bodemvruchtbaarheid, Haren. Rp 5-1973.
- Boheemen, P.J.M. van, 1977.
Verschillen tussen drie berekeningswijzen van de open-watervedamping. ICW nota 956, Wageningen.
- Boheemen, P.J.M. van, 1980.
Seizoen- en piekbehoefte aan kunstmatige watervoorziening bij gras, aardappelen en tuinbouwgewassen. ICW nota 1211, Wageningen.
- Boheemen, P.J.M. van, 1981.
Toename van de produktie van grasland bij verbetering van de watervoorziening. ICW nota 1298, Wageningen.
- Boheemen, P.J.M. van, 1982.
Een ervaring met de PAWN-droogteschadefunctie voor consumptieaardappelen. ICW nota 1360, Wageningen.

- Bouma, J., 1977.
Soil survey and the study of water in the unsaturated soil. Soil survey papers, nr. 13: pp 729-735. Stiboka, Wageningen.
- Bouma, J., 1981.
Soil morphology and preferential flow along macro-pores. Agric. Water Manag. Vol. 3 (1981) nr. 4: pp. 235-250.
- Bouma, J., and P.J.M. de Laat, 1981.
Estimation of the moisture supply capacity of some swelling clay soils in the Netherlands. Journal of Hydrology 49 (1981): pp 247-259.
- Bouma, J., en L.W. Dekker, 1983.
Nieuwe fysische meetmethoden bij waterbeweging in kleigronden. Landbouwk. Tijdschr. 95(1983) nr. 4: pp 26-29.
- Bruin, H.A.R. de, en W. Kohsiek, 1979.
Toepassingen van de Penman formule. Basisrapport Commissie Bestudering Waterhuishouding Gelderland. Ook KNMI W.R. 79-3, De Bilt.
- Bruin, H.A.R. de, 1981.
Neerslag, openwaterverdamping en potentieel neerslagoverschot in Nederland. Frequentie-verdelingen in het groeiseizoen. KNMI, W.R. 79-4, De Bilt (2e gewijzigde herdruk).
- Buishand, T.A., en C.A. Velds, 1980.
Neerslag en verdamping. KNMI, De Bilt.
- Buishand, T.A., 1982.
Het verloop van het potentiële neerslagoverschot in een zomerhalfjaar van een bepaalde droogtegraad. Cultuurtechn. Tijdschr. 22, 1: pp 11-19.
- CoGroWa, 1983.
Aanbevelingen voor het geohydrologisch onderzoek ter onderbouwing van vergunningsaanvragen voor grondwateronttrekkingen. Rapport van de Werkgroep Geohydrologische Aspecten van Grondwaterwinning. CoGroWa, Utrecht.
- Commissie voor Hydrologisch Onderzoek, TNO, 1981.
Evaporation in relation to hydrology. Comm. Hydr. Onderz. TNO, Versl. en Meded. 28, 's-Gravenhage.
- Crebas, J.I., en J.W. Wesseling, 1983.
PREDIS een mathematisch model van de landfase van de hydrologische kringloop. Cultuurtechnisch Tijdschrift 23, 3: pp 113-123.
- Defize, P.R., 1983.
Enkele varianten op de methode Stol bij de berekening van de verlaging van de grondwaterstand ten gevolge van onttrekking. Dienst Grondwater Verkenning, TNO.
- Dirksen, C., 1979.
Flux-controlled sorptivity measurements to determine soil hydraulic property functions. Soil Sci. Soc. Amer. J. 43: pp. 827-834.
- Domhof, J., 1958.
Oxydatie-Reductie. Stencil 1721 in: Voorlopige wetenschappelijke mededeling Stiboka 6.
- Doorenbos, J. and W.O. Pruitt, 1977.
Crop water requirements. FAO Irrig. and Drainage paper 24, Rome.
- Doorenbos, J., H. van der Straten, en H. Wieling, 1977.
Berekening op melkveebedrijven. Proefstation voor de Rundveehouderij, rapport nr. 53.
- Ernst, L.F., en R.A. Feddes, 1979.
Invloed van grondwateronttrekking voor berekening en drinkwater op de grondwaterstand. ICW nota 1116, Wageningen.
- Feddes, R.A., 1971.
Water, heat and crop growth. Thesis Comm. Agric. Univ. Wageningen 71-12.
- 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.
Gewasproductie en watergebruik. Basisrapport Commissie Bestudering Waterhuishouding Gelderland.
Ook: ICW nota 1118, Wageningen.
- Feddes, R.A., 1981.
Water use models for assessing rootzone modification. In: Monograph 17 "Modifying the Plant Root Environment" ASAE, St. Joseph, Michigan.
- Feddes, R.A., 1982.
Simulation of field water use and crop yield. In: Simulation of plant growth and crop production. Simulation Monographs Series, Pudoc, Wageningen.
- Feddes, R.A., and J.G. Wesseling, 1984.
Integrated model to simulate soil water balance and dry matter production of potatoes and summer wheat: SWACRO. ICW nota (in voorbereiding), Wageningen.
- Geer, F.C. van, and P. van der Kloet, 1983.
Estimation of parameters in groundwaterflow problems using a Kalmanfilter Algorithm. Comm. Hydr. Onderz. TNO, Versl. en Meded. 31: pp 449-462, 's Gravenhage.
- Giessen, L.B. van der, 1980.
De produktiekosten van gras op stam. LEI mededeling nr. 221, 's-Gravenhage.
- Gilding, B.H., 1983.
The soil moisture zone in a physically based hydrologic model. Advances in Water Res. Vol. 6: pp 36-43.
- Goudriaan J. and H.H. van Laar, 1978.
Calculation of daily totals of the gross CO₂ assimilation of leaf canopys. Neth. J. Agr. Sci. 26: pp 373-382.
- Graaf, M. de, 1983.
Beschouwingen over de berekeningswijzen die door het KNMI worden gehanteerd ter berekening van de open-watervedamping. ICW nota 1410, Wageningen.
- Grotentraast, G.J., 1976 (niet gepubliceerd).
Opbrengstdepressies van grasland ten gevolge van een kunstmatige verlaging van de grondwaterstand op zandgronden. Interne nota Technisch Secretariaat CoGroWa, Utrecht.
- Grotentraast, G.J., 1980 (niet gepubliceerd).
Schade per % opbrengstdepressie. Interne nota Technisch Secretariaat CoGroWa, Utrecht.
- Heesen, H.C. van, 1971.
De weergave van het grondwaterstandsverloop op bodemkaarten. Boor en Spade 17, pp. 127-149.
- Hellings, L.J., 1980.
Berekeningseffecten bij enkele akkerbouwgewassen. Bedrijfsontwikkeling 11 (1980) 11 (november): pp. 1063-1068. Ook: ICW Verspr. overdr. 257, Wageningen.
- Hellings, A.J., M. de Graaf en D.A. van der Schans, 1982.
De relatie tussen wateraanvoer, verdamping en productie bij het gewas aardappelen. Verslag van een veldproef op het proefterrein Sinderhoeve in 1981. ICW nota 1376, Wageningen.
- Hoogland, J.C., R.A. Feddes and C. Belmans, 1981.
Root water uptake model depending on soil water pressure head and maximum extraction rate. Acta Horticulturae 119, 1981, Watersupply and Irrigation: pp 123-136. Ook: ICW Techn. Bul. 6, Wageningen.
- Hop, J., 1982.
Watervoorziening op melkveehouderijbedrijven. Bedrijfsontwikkeling jrg. 13 (1982) 5 (mei): pp 430-434. Ook Landbouwmecanisatie 32 (1981) 10 (oktober): pp 945-948.
- Hornung, U. and W. Messing, 1981.
Simulation of two-dimensional saturated/unsaturated flows with an exact water balance. Proc. Euromech., 143 Delft. In: A. Verruyt and F.B.J. Barends (Editors), Flow and Transport in Porous Media. Balkema, Rotterdam, pp 91-96.
- Houben, J.M.M.Th., 1979.
Bodemgesteldheid en diepte van beworteling. Stiboka Rp. nr. 1459, Wageningen.
- Informeel Groep Verdamping, 1984.
Eindrapport van de Informeel Groep Verdamping. Provinciale Waterstaat Gelderland (in voorbereiding).

- Jansen, P.C., 1981.
Verwerking, interpretatie en toepassingsmogelijkheden van grondwaterstandsgegevens met behulp van overschrijdingsduurlijnen. ICW nota 1260, Wageningen.
- KIWA, 1979 en 1981.
Inventarisatie van methoden ter bepaling van landbouwschade ten gevolge van grondwaterwinning.
Deel I : Berekening van opbrengstdepressies. KIWA, 1979; SWE 219.
Deel II : Berekening van de vergoeding per procent van de potentiële opbrengst. KIWA, 1979; SWE 220.
Deel III: Berekening van de vergoeding voor capaciteitsvermindering van veedrenkputten. KIWA, 1981; SWE 320.
- KIWA, 1980.
Inventarisatie van methoden ter bepaling van grondwaterstandsdalingen als gevolg van grondwaterwinning.
Deel I : Methoden ter bepaling van reeds opgetreden grondwaterstandsdalingen. KIWA, 1980; SWE 292.
Deel II: Methoden ter voorspelling van toekomstige grondwaterstandsdalingen. KIWA, 1980; SWE 293.
- Knibbe, M., 1969.
Gleygronden in het dekzandgebied van Salland. Versl. Landbouwk. Onderz. 726, Pudoc, Wageningen.
- KNMI, 1982.
Klimatologische gegevens van Nederlandse stations nr. 10: Normalen en standaardafwijkingen voor het tijdvak 1951-1980. KNMI, De Bilt.
- Kovar, K, 1981.
Model description, Model for saturated groundwaterflow. In: Model study Over Betuwe, Volume 2. Basisrapport Commissie Bestudering Waterhuishouding Gelderland, Arnhem.
- Krabbenborg, A.J., J.N.B. Poelman en E.J. van Zuilen, 1983.
Standaardvocht karakteristieken van zand- en veenkoloniale gronden. Stiboka Rp. nr. 1680, Wageningen.
- Laat, P.J.M. de, and R.H.C.M. Awater, 1978.
Groundwaterflow and evapotranspiration. A simulation model, part 1. Theory. Basisrapport Commissie Bestudering Waterhuishouding Gelderland.
- Laat, P.J.M. de, 1980.
Model for unsaturated flow above a shallow watertable. Agr. Res. rep. 895 Pudoc, Wageningen.
- Laat, P.J.M. de, 1982 (concept).
Must, a simulation model for unsaturated flow. Int. Inst. for Hydr. and Env. Eng., Delft.
- Lanen, H.A.J. van, en G.J. Heij, 1978.
De tijdsafhankelijkheid van grondwaterstandsverlagingen ten gevolge van grondwaterontrekking nabij Glinthorst (Gelderse Vallei). RID-mededeling 78-5.
- Lanen, H.A.J. van, 1981 a.
De opbrengstverandering bij grasland ten gevolge van diepe grondwaterwinning in West-Utrecht. RID-mededeling 81-1.
- Lanen, H.A.J. van, 1981 b.
Berekening van de capillaire opstijghoogte en het bergend vermogen in gelaagde bodemprofielen. RID Hy.h. 81-11.
- Lanen, H.A.J. van, 1981 c.
Enige ervaringen opgedaan met een niet stationair model voor grondwaterstroming en verdamping (SUM-2) in de Gelderse Vallei. RID, Hy.h. 81-18.
- Lanen, H.A.J. van, 1981 d.
De afhankelijkheid van de met GELGAM berekende potentiële evapotranspiratie van akkerbouwgewassen van de zuigspanning. Interne RID nota Hyh. 81-204.
- Lanen, H.A.J. van, 1983 a.
Aanvullend onderzoek met het model GELGAM in het studiegebied Sleen (Drenthe).
Deel I: Aanpassingen en resultaten voor een 10% droog zomerhalfjaar. RID Hy.h. 83-10.
Deel II: Bepaling van de hydrologische effecten van permanente grondwaterwinning met verschillende rekenmethoden. RID Hy.h. 83-12.
Deel III: Hydrologische effecten van intensieve berekening uit het grondwater en het eerder of later opzetten van stuwen. RID Hy.h. 83-13.
- Lanen, H.A.J. van, 1983 b.
Berekening uit het grondwater op hogere gronden en het effect daarvan op lagere gronden. H₂O (16), nr. 16: pp 369-375.

- Makkink, G.F., 1957.
Testing the Penman formula by means of lysimeters. Journ. Inst. of Water Eng. 11: pp 277-288.
- Makkink, G.F., 1960.
De verdamping uit vegetaties in verband met de formule van Penman. Comm. Hydr. Onderz. TNO, Versl. en Meded. 4: pp 90-115, 's-Gravenhage.
- Monteith, J.L., 1965.
Evaporation and environment. Proc. Symp. Soc. Exp. Biol. 19: pp 205-234.
- Mooy, H, en G.J. Grotentraast, 1981 (niet gepubliceerd).
Het gebruik van meteorologische gegevens bij vochttekort berekeningen. Interne notitie Technisch Secretariaat CoGroWa.
- 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. ICW rapport n.s. 2, Wageningen.
- Neuman, S.P., R.A. Feddes and E. Bresler, 1975.
Finite element analysis of two-dimensional flow in soils considering water uptake bij roots. I. Theory. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 39: pp 224-230. Ook: ICW Verspr. overdr. 173, Wageningen.
- Olsthoorn, T.N., 1983.
Invloed van mechanische ingrepen in beschermende geologische lagen. Deel 23 uit de reeks Bodembescherming. Ministerie van VROM, 's-Gravenhage.
- Penman, H.L., 1948.
Natural evaporation from open water, bare soil and grass. Proc. Roy. Soc. London A 193: pp 120-145.
- Poelman, J.N.B., en Th. van Egmond, 1979.
Uit eenvoudige grootheden af te leiden pF-waarden voor de rivier- en zeeleigonden. Stiboka Rp. nr. 1492, Wageningen.
- Priestley, C.H.B., and R.J. Taylor, 1972.
On the assessment of surface flux and evaporation using large-scale parameters. Month. Weather Rev. 100: pp 81-92.
- Projectgroep Grevelingen zout/zoet, 1982.
De landbouwwatervoorziening in zuidwest-Nederland. Verslag van de Werkgroep Landbouw.
- Reitsma, T., 1980.
Pompproef Dinxperlo. N.V. Waterleidingsmaatschappij Oostelijk-Gelderland, Doetinchem.
- Reuling, Th.H.M., 1983.
Gebruikershandleiding voor het model LAMOS. Landinrichtingsdienst, Utrecht.
- Rijniersce, K., 1976.
Beschrijving van een methode voor de berekening van capillaire opstijging in gelaagde profielen. Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders, werkdocument. 1976-292 Bbw., Lelystad.
- Rijtema, P.E., 1965.
An analyses 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. Comm. Hydr. Onderz. TNO, Versl. en Meded. 14: pp 86-149, 's-Gravenhage.
- Rijtema, P.E., 1969 a.
On the relation between transpiration, soil physical properties and crop production as a basis for water supply plans. Comm. Hydr. Onderz. TNO, Versl. en Meded. 15: pp 28-58. Ook: ICW Techn. Bull. 58, Wageningen.
- Rijtema, P.E. 1969 b.
Soil moisture forecasting. ICW nota 513, Wageningen.
- Rijtema, P.E. and G. Endrödi, 1970.
Calculation of production of potatoes. Neth. J. Agric. Sci. 18.1: pp 26-36. Ook: ICW, Techn. Bull. 70, Wageningen.

- Rijtema, P.E., 1971.
Een berekeningsmethode voor de benadering van landbouwschade ten gevolge van grondwateronttrekking. ICW nota 587, Wageningen.
- Rijtema, P.E., 1974.
Te verwachten landbouwkundige gevolgen van de waterwinning in Oost-Gelderland. ICW nota 797, Wageningen.
- Rijtema, P.E. and A. Aboukhaled, 1975.
Crop water use. In: Research on crop water use, salt affected soils and drainage in the Arab. Rep. of Egypt. FAO, Rome pp 5-57.
- Schneider, C.B.H., 1978.
Productie en ontwatering. *Bedrijfsontwikkeling* 9 (1978) 9 (september): pp 777-783.
- Schothorst, C.J., 1963.
Beweidingsverliezen op diverse graslandgronden. *Landbouwk. Tijdschr.* 75-15: pp 869-878.
- Schothorst, C.J., 1980.
De voorjaarsproductie en het effect van ontwatering in diverse weidegebieden. ICW nota 1233, Wageningen.
- Sieben, W.H., 1964.
Het verband tussen ontwatering en de opbrengst bij de jonge zavelgronden in de Noordoostpolder. Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders, Van Zee tot Land 40.
- Silva, W., 1977.
Vergelijking van de vochtspanningen, gemeten in situ met behulp van de pressure transducer, met de uit de pF-curve afgeleide waarden. ICW nota 988, Wageningen.
- Slabbers, P.J., V. Sorbello Herrendorf and M. Stapper, 1979.
Water-crop-yield relationships. *Agric. Water Manag.* Vol 2 nr. 2: pp 95-129.
- Sluijs, P. van der, en Th. van Egmond, 1976.
Facetten van grondwatertrappen op zandgronden. *Stiboka Rp.* nr. 1329, Wageningen.
- Sluijs, P. van der, 1982.
De grondwatertrap als karakteristiek van het grondwaterstandsverloop. *H₂O* (15) 1982, nr. 3: pp 42-46.
- Stanhill, G., 1960.
The relationship between climate and the transpiration and growth of pastures. *Proc. 8th. Intern. Grassland Congress.*
- Stewart, J.I., and R.M. Hagan, 1969.
Predicting effects of water shortage on crop yield. *J. Irr. and Drain. Div.*, Vol. 95 (1): pp 91-104.
- Stewart, J.I. et al, 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.
- Stol, Ph. Th., 1973.
Het gebruik van waterstandsgegevens voor het toetsen van prognoses over de gevolgen van kunstmatige wateronttrekking. TNO-project 73, nr. 8: pp 312-318. Ook: ICW, Verspr. overdr. 151, Wageningen.
- Stol, Ph. Th., 1977.
Een aantekening bij het toepassen van numerieke exploitatie in een gebied met een begonnen grondwateronttrekking. ICW nota 957, Wageningen.
- Straten, H. van der, H. Wieling en A. de Kruijf, 1980.
Invloed van een slechte ontwatering op de arbeidsopbrengst. Proefstation voor de Rundveehouderij, rapport nr. 71 en Landinrichtingsdienst, mededelingen 132, Utrecht.
- Stricker, J.N.M., 1981.
Methods of estimating evapotranspiration from meteorological data and their applicability in hydrology. *Comm. Hydr. Onderz. TNO, Versl. en Meded.* 28: pp 59-77, 's-Gravenhage.
- SWLT, 1980.
Aanvullende Watervoorziening van de Land- en Tuinbouw. Rapport van de Studiecommissie Waterbehoefte Land- en Tuinbouw.

- Technisch-Economische Werkgroep Beheersregelingen, 1981.
Richtlijnen en normen voor de berekening van de grondslagen voor de beheers- en aanpassingsvergoeding.
Directie Beheer Landbouwgronden, Utrecht.
- Thom, A.S. and H.R. Oliver, 1977.
On Penman's equation for estimating regional evaporation. *Quart. J.R. Met. Soc.* 103: pp 345-357.
- Verheijen, L.H.A.M. en J.H.A.M. Steenvoorden, 1981.
De stikstofhuishouding van bouwland met snijmais in afhankelijkheid van de kunstmest- en stalmest-dosering (proefveld Gortel 1971 t/m 1978). ICW nota 1287.
- Verlinden, H.L. en J. Bouma, 1983.
Fysische onderzoeksmethoden voor de onverzadigde zone. Deel 22 uit de reeks Bodembescherming. Ministerie van VROM, 's-Gravenhage.
- Visser, W.C., 1958.
De landbouwwaterhuishouding van Nederland. *Comm. Onderz. Landbouwwater- huishouding. Ned. TNO Rapport No. 1.*
- Werkgroep Uitbreiding Waterwinning Pompstation Fikkersdries, 1978.
Onderzoek "Fikkersdries" 1972-1977. N.V. Waterleiding Maatschappij Gelderland, Velp.
- Werkgroep Wateronttrekking Gelderse Vallei, 1979.
Onderzoek Glindhorst 1974-1979. N.V. Waterleiding Maatschappij Gelderland, Velp.
- Wesseling, J., 1957.
Enige aspecten van de waterbeheersing in landbouwgronden. *Versl. Landbouwk. Onderz.* 63.5, Pudoc, Wageningen.
- Wesseling, J.G., G.W. Bloemen and W.A.J.M. Kroonen, 1984.
Computerprogram "CAPSEV" to calculate: I. Soil hydraulic conductivity from grainsize distribution. II. Steady state waterflow in layered soil profiles. ICW nota 1500, Wageningen.
- Wieling, H., A.K. Koops, L.E.M. Rempelberg en S. de Jong, 1977.
Normen voor de voederverzorging. Proefstation voor de Rundveehouderij. *Rapport nr. 57.*
- Wind, G.P., 1960.
Opbrengstderving door te laat zaaien. *Landbouwk. Tijdschr.* 72-4: pp 111-118.
- Wind, G.P., 1963.
Gevolgen van wateroverlast in de moderne landbouw. *Versl. en Meded. Comm. Hydr. Onderz. TNO 9:* pp 55-72, '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: pp. 1-20. Ook: ICW Techn. Bull. 101, Wageningen.
- Wind, G.P., 1979.
Analog modeling of transient moisture flow in unsaturated soil. *Agr. Res. Rep. 894,* Pudoc, Wageningen.
- Wit, C.T. de, 1958.
Transpiration and crop yields. *Agr. Res. Rep. 64.6,* Pudoc, Wageningen.
- Wit, C.T. de, 1965.
Photosynthesis of leaf canopies. *Agr. Res. Rep. 663,* Pudoc, Wageningen.
- Wijk, A.L.M. van, en R.A. Feddes, 1975.
Invloed van de waterhuishouding op de opbrengst van landbouwgewassen. ICW nota 867, Wageningen.
- Wijk, A.L.M., G.P. Wind and J. Buitendijk, 1984 (in voorbereiding).
FLOWEX, numerical model for simulation of vertical flow of water through unsaturated, layered soils.
- Wösten, J.H.M., 1983.
Bodemfysische metingen ten behoeve van het PR-project Gelderland. *Stiboka Rp. nr. 1699,* 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. *Stiboka Rp. nr. 1706,* Wageningen.

<u>LIJST VAN FIGUREN EN TABELLEN</u>		<u>Blz.</u>
Fig. 2.1.	Het verloop van de dimensieloze sink-term variabele α als functie van de absolute waarde van de drukhoogte van het bodemvocht, $|h|$.	32
Fig. 2.2.	Het verloop van de drukhoogte (h) bij verschillende capillaire fluxen (v) in een meer-lagenprofiel voor grondwaterstandsdiepten van 130, 135 en 140 cm beneden het maaiveld.	43
Fig. 2.3.	Basisafvoer als functie van de grondwaterstandsdiepte voor een aantal gebieden in Nederland.	48
Fig. 2.4.	Gemiddelde neerslaghoeveelheid (normaal) voor het zomerhalfjaar (april-september), berekend voor het tijdvak 1941-1970.	53
Fig. 2.5.	Overschrijdingskans van vochttekorten van gras op een hangwaterprofiel met een dun humeus dek, berekend op basis van "werkelijke" jaren en "statistische" jaren.	57
Fig. 2.6.	Relatie tussen de overschrijdingskans van het berekende vochttekort en (A): de overschrijdingskans van het verdampingsoverschot over de periode april tot en met september, en (B): de overschrijdingskans van de maximale toename van het cumulatief verdampingsoverschot.	61
Fig. 2.7.	Verloop van het cumulatief verdampingsoverschot over de periode april tot en met september voor een vijftal jaren.	61
Fig. 2.8.	Frequentieverdeling (overschrijdingskans) van de maximale toename van $(E - P)$ gedurende het groeiseizoen (april t/m september) voor de waarnemingsreeks Avereest.	62
Fig. 2.9.	Droge stof- en korrelobbrengst van maïs in Davis in 1974 als functie van de evapotranspiratie gedurende het groeiseizoen.	64
Fig. 2.10.	Droge stof- en korrelobbrengst van maïs in Davis in 1974 als functie van de hoeveelheid toegediend water, inclusief de natuurlijke neerslag, gedurende het groeiseizoen.	65
Fig. 2.11.	Verhouding tussen de veranderingen van de produktie en evapotranspiratie $\Delta Q/\Delta E^*$ in relatie tot de potentiële produktie (Q_p).	66
Fig. 2.12.	Relatie tussen de vers gewichtopbrengst en de totale hoeveelheid beschikbaar water voor aardappelen.	67
Fig. 2.13.	Schematisch verloop van de schadecoëfficiënt als functie van de relatieve verdamping en het voor de berekeningen gehanteerde verloop.	69
Fig. 2.14A.	De relatie tussen de droge stofopbrengst van gras en de verhouding totale transpiratie/gemiddeld verzadigingsdeficiet van de lucht, zoals verkregen op een 3-tal verschillende bodemprofielen voor een periode van 150 dagen in het zeer droge jaar 1959.	74
Fig. 2.14B.	Als fig. 2.13A. maar nu uitgezet tegen de verhouding totale werkelijke transpiratie/totale potentiële transpiratie.	74
Fig. 3.1.	Relatie opbrengstdaling - grondwaterstand voor een 7-tal profielgroepen.	84
Fig. 3.2.	Relatie SOW_{30} en de gemiddelde grondwaterstand van november-mei voor veengrond te Bleskensgraaf.	86
Fig. 3.3.	Relatieve opbrengstdaling van de 1e + 2e snede in afhankelijkheid van de gemiddelde grondwaterstand van november-mei bij stikstofgiften van 0, 150 en 300 kg.ha ⁻¹ .	86
Fig. 3.4.	Relatieve droge stofopbrengst van gras op veen als functie van de ontwateringsdiepte in het voorjaar, zoals berekend met een verdampingsmodel, gecorrigeerd op het nadelige effect van hoge winter- en voorjaarsgrondwaterstanden en op nadelige effecten van hoge grondwaterstanden tijdens het groeiseizoen (beweidings- en ruwvoederwinningsverliezen).	87
Fig. 3.5.	Opbrengstdepressie door wateroverlast voor <u>grasland</u> op moerige gronden en zandgronden.	89
Fig. 3.6.	Opbrengstdepressie door wateroverlast voor <u>akkerbouwgewassen</u> op moerige gronden en zandgronden.	90
Fig. 3.7.	Overschrijdingsduur van de grondwaterstand per Grondwatertrap.	96
Fig. 3.8.	Lijnen van gelijke overschrijdingsduur van grondwaterstanden ondieper dan 50 cm-mv.	97
Fig. 3.9.	Gemiddelde cumulatieve neerslaghoeveelheid in het winterhalfjaar (1 oktober-1 april) berekend over het tijdvak 1941-1970.	99

	<u>Blz</u>	
Fig. 3.10.	Lijnen van gelijke cumulatieve frequentie (overschrijdingskans) van de neerslagsom te De Bilt gerekend vanaf 1 oktober tot 1 april.	99
Fig. 3.11.	Neerslagsom (mm), som van de maandelijkse positieve neerslagoverschotten (mm) en de hiervan afgeleide wateroverlastfactoren (f_w) voor de jaren 1951 t/m 1982 te De Bilt.	10
Fig. 5.1.	Schematisch overzicht van de winningsmiddelen voor particuliere watervoorziening.	123
Tabel 1.	Indeling Grondwatertrappen.	6
Tabel 2.	Overzicht van de belangrijkste in- en uitvoergegevens van het model LAMOS.	30
Tabel 3.	Indicatie voor de absolute waarde van drukhoogte van het bodemvocht, waarboven de opnamesnelheid van de wortels in de vegetatieve fase van het gewas wordt gereduceerd, bij een potentiële transpiratiesnelheid van 5, resp. 1 mm d ⁻¹ .	32
Tabel 4.	Overzicht van de belangrijkste in- en uitvoergegevens van het model SWATRE.	35
Tabel 5.	Indeling van de bodemtypen op zand en veenkoloniale gronden in een 10-tal groepen ten behoeve van de bepaling van de vocht karakteristiek.	38
Tabel 6.	Dikte van de effectieve wortelzone (cm) van een aantal gewassen voor verschillende grondsoorten.	45
Tabel 7.	Gewasfactoren (f) voor een aantal gewassen bij verschillende stadia van bodembedekking in de loop van het groeiseizoen.	51
Tabel 8.	Gemiddelden (normalen) van de Penmanverdamping (E_o), in mm, voor de tijdvakken 1941-1970, en 1951-1980.	52
Tabel 9.	Gemiddelde maandelijkse verdampingoverschot ($0.8 E_o - P$) in mm over de jaren 1911 tot en met 1975 in het zomerhalfjaar voor een zestal waarnemingsstations.	54
Tabel 10.	Cumulatieve frequentieverdeling van het verdampingoverschot ($0.8 E_o - P$) over de periode 1 april-1 oktober voor een zestal waarnemingsstations.	55
Tabel 11.	Vochttekort bij grasland op hangwaterprofielen met een dun humeus dek voor een 3-tal groepen "werkelijke" jaren met een vrijwel overeenkomstig verdampingoverschot ($E_p - P$) over het groeiseizoen en voor vergelijkbare "statistische" jaren.	58
Tabel 12.	Gemiddeld vochttekort voor grasland, berekend op basis van "statistische" jaren en "werkelijke" jaren voor twee bodemtypen bij verschillende grondwaterstandsverlopen en de toename van het vochttekort per grondwaterstandsklasse.	59
Tabel 13.	Gemiddelde bruto potentiële produktieniveau van grasland per periode.	75
Tabel 14.	Netto KVEM produktie per ha van een "zelfvoorzienend" bedrijf zonder beperkingen, bij verschillende N-giften.	92
Tabel 15.	Invloed van een aantal aspecten van onvoldoende ontwatering op de netto grasproduktie.	92
Tabel 16.	Overzicht van de belangrijkste in- en uitvoergegevens van het model FLOWEX.	94
Tabel 17.	Voorbeeld berekening aan te kopen hoeveelheid ruwvoer en krachtvoer in de situatie zonder en met wateronttrekking.	109
Tabel 18.	Voorbeeld berekening saldo per koe.	111
Tabel 19.	Voorbeeld berekening schade op basis van de arbeidsopbrengst in de situatie zonder wateronttrekking en bij 10% produktiedaling voor drie bedrijfstypen.	113
Tabel 20.	Telersprijzen van de voornaamste akkerbouwgewassen in het zuidelijk en oostelijk zandgebied.	116
Tabel 21.	Gemiddelde verbruikersprijs ruwvoer en krachtvoer in f/KVEM.	117
Tabel 22.	Normbedragen voor de kosten van ondervangende maatregelen bij eigen watervoorziening en voor de aanschaf van een weidepomp.	133
Tabel 23.	Vochtbehoefte in liters per dag (inclusief vocht uit veevoer) van rundvee, paarden, schapen en geiten.	135
Tabel 24.	Normbedragen voor de aanloop schade per winningsmiddel.	136

APPENDIX

VOORBEELD SCHADEBEREKENING

	<u>Blz.</u>
1. <u>Inleiding</u>	1
2. <u>Onttrekking door het pompstation</u>	2
3. <u>Geo-hydrologische beschrijving</u>	3
4. <u>Bodemkundig-landschappelijke beschrijving</u>	3
5. <u>Vaststelling van de verlaging van de grondwaterstand</u>	4
6. <u>Berekening van de verandering van de grasopbrengst</u>	5
7. <u>Uitkomsten van de berekening van de opbrengstverandering</u>	10
8. <u>Financiële waardering van de opbrengstveranderingen</u>	11
9. <u>Schade met betrekking tot de particuliere watervoorziening</u>	13
10. <u>Ten besluite</u>	16

VOORBEELD SCHADEBEREKENING

1. Inleiding

Ter illustratie en verduidelijking van enkele in dit rapport besproken werkwijzen en berekeningsmethoden is in het navolgende een voorbeeld gegeven van een schadeberekening.

Het zal duidelijk zijn dat in één voorbeeld niet alle landbouwkundige aspecten van wateronttrekking aan bod kunnen komen. De gevarieerdheid in bodemkundig en waterhuishoudkundig opzicht alsmede de diversiteit uit een oogpunt van bedrijfstype (tuinbouw, akkerbouw, grasland) en bedrijfsvoering (bijv. wel of geen berekening) is hiervoor te groot. Door te veel aspecten in een voorbeeld onder te brengen krijgt dit een gekunsteld karakter, hetgeen de duidelijkheid niet ten goede komt. Voor het onderhavige voorbeeld is uitgegaan van een gefingeerde ont- trekking in een dekzandgebied. De berekening is uitgevoerd voor gras- land.

Voor de berekening van de opbrengstveranderingen is gebruik gemaakt van het model LAMOS. Aan de hand van de benodigde invoergegevens wordt de gevolgde werkwijze stap voor stap toegelicht.

De financiële schade als gevolg van de opbrengstvermindering wordt in dit voorbeeld berekend op basis van de thans bij de CoGroWa gehanteerde uitgangspunten.

Teneinde de berekening van schade met betrekking tot particuliere water- voorzieningen te kunnen illustreren zijn in het invloedsgebied van de waterwinning enkele particuliere waterwinningsmiddelen gesitueerd.

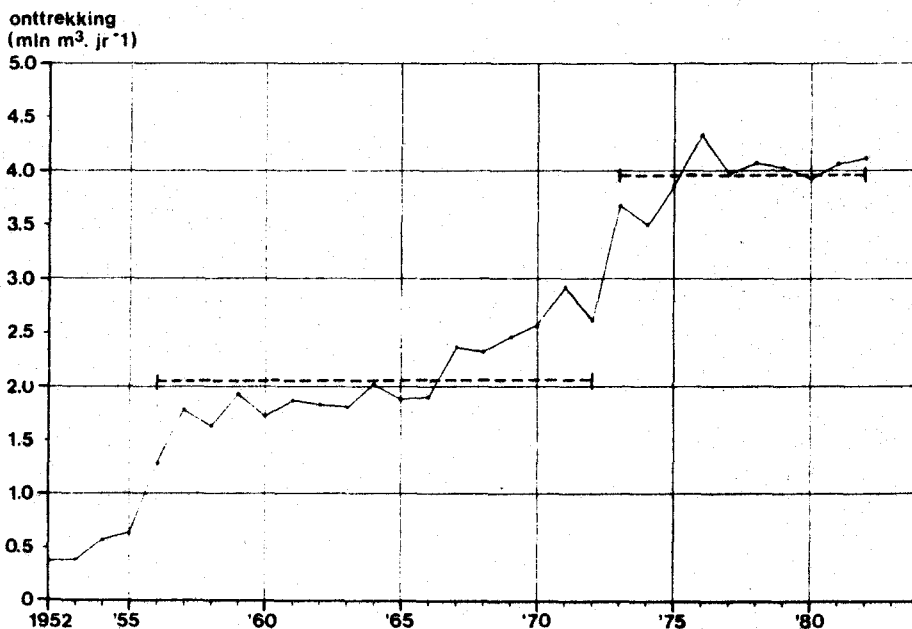
Alvorens over te gaan tot de bespreking van de feitelijke schadebereke- ning wordt enige informatie gegeven over de onttrekking door het pomp- station en de geo-hydrologische opbouw ter plaatse van de wateronttrek- king. Vervolgens wordt een korte bodemkundig-landschappelijke beschrij- ving gegeven van het betreffende gebied. Opgemerkt wordt dat zowel de onttrekking als de geo-hydrologische-, de bodemkundige en de landschap- pelijke beschrijving gebaseerd zijn op gefingeerde gegevens.

Bij de toelichting op de schadeberekening wordt in de marge verwezen naar de voor de schadeberekening relevante bladzijden, uit het voorliggende rapport.

2. Onttrekking door het pompstation

De onttrekking door het pompstation is gestart in 1952, en sindsdien min of meer geleidelijk toegenomen tot de huidige onttrekkingsgrootte van 4,2 miljoen m³ per jaar. Het verloop van de onttrekking is weergegeven in onderstaande figuur. De onttrekking vindt gelijkmatig verdeeld over het jaar plaats.

Onttrekking door het pompstation per jaar en gemiddeld over de perioden 1956 t/m 1972 en 1973 t/m 1982.



Ten behoeve van de schadeberekening zijn een tweetal perioden onderscheiden nl. 1956 t/m 1972 en 1973 t/m 1982. De onttrekking in de eerste periode bedroeg gemiddeld 2.056.000 m³ per jaar en in de tweede periode 3.964.000 m³ per jaar. De periode vóór 1956 is gelet op de geringe onttrekkingsomvang niet in de schadeberekening betrokken.

3. Geo-hydrologische beschrijving

De wateronttrekking door het pompstation vindt plaats aan een pakket matig grove zanden behorend tot de Formatie van Kreftenheye. Aan de onderzijde wordt dit pakket op een diepte van 40 à 50 m beneden het maaiveld begrensd door de afzettingen van de Formatie van Kedichem. Deze afzettingen, bestaande uit fijnzandige leemhoudende lagen afgewisseld door klei- en leemlagen, kunnen als basis van het ondiepe watervoerend pakket worden beschouwd.

Aan de bovenzijde wordt het watervoerend pakket afgedekt door de fijnzandige afzettingen van de Formatie van Twente. In deze afzettingen die reiken tot een diepte van 5 à 10 meter beneden het maaiveld kunnen plaatselijk leemlenzen voorkomen. In geo-hydrologisch opzicht kan de bodemopbouw in het wingebied tot een diepte van 40 à 50 m beneden het maaiveld worden beschouwd als één watervoerend pakket met freatisch water.

4. Bodemkundig-landschappelijke beschrijving (zie bijlage A)

De winplaats ligt in een gebied bestaande uit overwegend matig fijne, zwak lemige dekzandgronden met een dun humeus dek (zgn. veldpodzolgronden). Deze gronden worden in noordwest-zuidoostelijke richting doorsneden door een tweetal beekdalen. Plaatselijk worden in deze beekdalen moerige gronden aangetroffen. De laagst gelegen delen in deze beekdalen zijn niet als cultuurgrond in gebruik; hierop wordt een broekbosvegetatie aangetroffen. Oorspronkelijk hadden de laaggelegen cultuurgronden in deze beekdalen veelvuldig te kampen met wateroverlast, met name in voor- en najaar. Door de uitvoering van waterschapswerken in de tweede helft van de zestiger jaren is deze wateroverlast echter aanzienlijk verminderd.

In het oostelijk deel van het invloedsgebied wordt een complex hoge enkeerdgronden aangetroffen. Deze gronden worden gekenmerkt door een humeuze bovenlaag van meer dan 50 cm dikte. Op de overgang van deze enkeerdgronden naar de aangrenzende veldpodzolgronden en beekerdgronden komen zogenaamde laarpodzolgronden voor met een matig dik humeus dek (30-50 cm).

In het noordelijk deel van het gebied komt in het profiel, beginnend tussen 40 en 120 cm beneden het maaiveld, plaatselijk een grofzandige laag voor met een dikte van enkele decimeters. Deze laag heeft een ongunstige invloed op de capillaire opstijging vanuit het grondwater. In het westelijk deel van het invloedsgebied wordt veelal keileem in het profiel aangetroffen, overwegend beginnend tussen 80 en 150 cm beneden het maaiveld. De dikte van deze keileemlaag varieert van enkele decimeters tot meer dan 1,50 m en is zeer heterogeen van samenstelling. In perioden met een neerslagoverschot stagneert het infiltrerende water op deze keileemlaag waardoor tijdelijk schijnspiegels kunnen ontstaan. De cultuurgronden in het invloedsgebied zijn overwegend als grasland in gebruik. Daarnaast wordt met name op de middelhoge en hoge gronden snijmais verbouwd. Het areaal snijmais is in de zeventiger jaren sterk uitgebreid.

De hoog gelegen enkeerdgronden worden op beperkte schaal gebruikt voor de verbouw van akkerbouwgewassen, met name aardappelen, granen en suikerbieten.

5. Vaststelling van de verlaging van de grondwaterstand

Blz.

20-21

Voor het vaststellen van de opgetreden verlaging van de grondwaterstand is het bestaande peilbuizenet uitgebreid met een zestigtal ondiepe peilbuizen, welke in een aantal raaien over het invloedsgebied zijn geplaatst. In gebieden met keileem in het profiel zijn peilbuizen geplaatst met zowel een filter boven als beneden de keileemlaag.

13-18

Zowel bij de bestaande peilbuizen als bij de nieuw geplaatste peilbuizen zijn uitvoerige boorbeschrijvingen gemaakt, waarbij met name aandacht is geschonken aan de aard en plaats van hydromorfe kenmerken voor het schatten van de GHG en de GLG in zowel de vroegere situatie vóór de wateronttrekking als in de huidige situatie.

De verzamelde gegevens zijn verwerkt in 8 schematische profieldoorsneden (grondwaterstandsraaien). Voor de reconstructie van het "oude" GLG niveau is tevens gebruik gemaakt van een geconstrueerde isohypsenkaart gebaseerd op grondwaterstandsgegevens op enkele karakteristieke data uit de COLN-periode. Het huidige GLG niveau is gebaseerd op recent

gevormde hydromorfe kenmerken en op de in de peilbuizen gemeten grondwaterstanden. Ter illustratie is in bijlage B één van de geconstrueerde profieldoorsneden weergegeven. De ligging hiervan is aangegeven op bijlage A.

Het uit de profieldoorsneden geconstrueerde verlagingspatroon vormt de basis voor het vaststellen van de verlaging per vlak.

De vastgestelde verlaging geldt voor de huidige situatie. Voor de bepaling van de verlaging in de eerste periode (1956 t/m 1972) zijn slechts weinig gegevens beschikbaar. Teneinde inzicht te krijgen in de invloed van de wateronttrekking op de grondwaterstand in deze periode is voor het betreffende gebied een hydrologische modelberekening uitgevoerd.

6. Berekening van de verandering van de grasopbrengst

28-31

Voor de berekening van de opbrengstverandering als gevolg van de opgetreden verlaging van de grondwaterstand is gebruik gemaakt van het pseudo-stationaire model LAMOS.

De vereiste bodemkundige en hydrologische basisgegevens voor de berekening van het vochttekort zijn verkregen door middel van een bodemkundig-hydrologisch onderzoek. De resultaten hiervan zijn vastgelegd in een vlakkenkaart (bijlage C). De onderscheiden vlakken zijn begrensd op basis van veldkenmerken, profieleigenschappen en reeds aanwezige bodemkundige gegevens (bodemkaart). De profielen binnen deze vlakken vertonen overeenkomst ten aanzien van de vroegere (vóór de onttrekking) en de huidige grondwaterstandsfluctuatie, de dikte en aard van de bewortelbare laag (bovengrond) en de samenstelling van de ondergrond. De gegevens per vlak zijn samengevat in een tabel (bijlage D).

44-46

Wortelzone

Aan de hand van de profielopbouw en het voorkomen van wortels is in het terrein per boring de dikte van de bewortelbare zone vastgesteld. Aan de hand hiervan is de voor de berekening te hanteren dikte van de bovengrond (effectieve wortelzone) vastgesteld. Hierbij is voor het gehele gebied uitgegaan van gebruik als grasland.

37-40 Vocht karakteristiek

Op basis van het organische stofgehalte en het leemgehalte is aan de bovengrond een vocht karakteristiek toegekend. Hiertoe is gebruik gemaakt van een beperkte reeks vocht karakteristieken. Deze reeks is weer gegeven op bijlage E. De nummering van de vocht karakteristieken in de tabel op bijlage D correspondeert met de nummering van de reeks op bijlage E.

40-44 Opbouw en capillair geleidingsvermogen van de ondergrond

Aan de hand van boringen in het terrein is de profielopbouw van de ondergrond vastgesteld. Hierbij is getracht te komen tot één typering per onderscheiden kaartvlak. In sommige gevallen bleek dit niet mogelijk en was een onderverdeling van de kaartvlakken noodzakelijk. Kaartvlakken met nauwverwante ondergrondtypen, dat wil zeggen met een qua laagdikte en laagopeenvolging overeenkomstige profielopbouw, zijn geschematiseerd tot één ondergrondtype, zodanig dat in het onderzochte gebied met slechts 12 verschillende ondergrondtypen kon worden volstaan. De profielopbouw van de onderscheiden ondergrondtypen is weer gegeven op bijlage E.

40 De capillaire eigenschappen en de vocht karakteristieken van de onderscheiden ondergrondlagen (uitgezonderd de keileemlaag) zijn gekarakteriseerd op basis van de door Rijtema en door De Laat gegeven standaard ondergronden.

41 De capillaire eigenschappen van de keileemlaag zijn bepaald door meting aan ongeroerde monsters. De typering van de ondergrondlagen is samengevat in de volgende tabel.

Typering ondergrondlagen

Aard van de laag	Typering
grof zand	R 1
zwak lemig matig fijn zand	L 21
sterk lemig matig fijn zand	R 3
zwak lemig zeer fijn zand	L 22
humeus, matig fijn zand	R 5
keileem	S 1

De bodemfysische parameters voor de bepaling van de onverzadigde doorlatendheid bij verschillende drukhoogten en de vocht karakteristieken van de gebruikte standaardgronden zijn weergegeven op bijlage F.

46-47 Hydrologische invoergegevens

16-18 Het gemiddelde verloop van de grondwaterstand in de uitgangssituatie en in de beide verlaagde situaties is gekarakteriseerd door de GHG, de GVG en de GLG.

De GHG en de GLG voor zowel de uitgangssituatie als voor de verlaagde situaties is per kaartvlak vastgesteld op basis van de gekarteerde hydromorfe kenmerken, en de vastgestelde verlagingspatronen.

47 De GVG is voor de open zandprofielen vastgesteld met behulp van vergelijking (3). Voor de gronden met keileem in het profiel is de GVG geschat op basis van veldwaarnemingen en de gemeten grondwaterstanden in enkele peilbuizen die over een reeks van jaren zijn waargenomen alsmede in de recent geplaatste peilbuizen.

Voor de kaartvlakken in het oostelijk beekdal alsmede voor de aangrenzende kaartvlakken is de GHG en de GVG in de uitgangssituatie gecorrigeerd voor de invloed van de waterschapswerken die in de tweede helft van de zestiger jaren in dit gebied zijn uitgevoerd. De GHG van de betreffende vlakken is met ca. 10 à 20 cm verlaagd en de GVG met 5 à 10 cm. Aangenomen is dat de GLG in de uitgangssituatie niet merkbaar door de uitgevoerde werken is verlaagd (zie voetnoot blz. 16).

49-62 Meteorologische invoergegevens

51 Voor de beschrijving van de randvoorwaarde aan de bovenzijde van het systeem is gebruik gemaakt van de decadesommen van neerslag en open water verdamping gemeten te De Bilt over de periode 1 april - 1 oktober van de jaren 1953 t/m 1982. Voor de bepaling van de potentiële verdamping is uitgegaan van de empirische relatie:

$$E_p = f \cdot E_o$$

De gewasfactor (f) voor gras is gesteld op 0,8 (tabel 7).

47-49 Relatie voor grondwaterstand- basisafvoer

49 De randvoorwaarde aan de onderzijde van het systeem wordt bij de depressieberekeningen voor de uitgangssituatie beschreven door een iteratief vastgestelde exponentiële relatie tussen de grondwaterstand en de basisafvoer. Voor de verlaagde situatie gaat het model uit van de per tijdstip berekende grondwaterstanden, gecorrigeerd voor de opgetreden verlagingen.

31-33 Opneembaarheid bodemvocht (sinkterm)

De verminderde opneembaarheid van het bodemvocht bij toenemende drukhoogte wordt in rekening gebracht gebracht door invoering van een sinkterm. Aangenomen is dat de opneembaarheid boven pF 2,6 lineair afneemt met de pF -waarde. (Zie figuur 2.1 en tabel 3).

40 Hysteresis factor

Bij herbevochtiging van een uitgedroogde grond is het vochtgehalte bij eenzelfde zuigspanning veelal lager dan bij een uitdrogende grond. Teneinde dit effect in rekening te brengen is een hysteresis factor 0,5 ingevoerd.

29 Slecht doorlatende laag

In het gebied met keileem in het profiel kan in het voorjaar tijdelijk een schijnspiegel op de keileemlaag voorkomen. In de loop van het groei-

seizoen verdwijnt deze. Het tijdstip waarop dit gebeurt, varieert afhankelijk van de weersomstandigheden en de diepteligging van de keileem. In de uitgevoerde berekeningen is met de mogelijke aanwezigheid van schijnspiegels rekening gehouden; op het moment dat de schijnspiegel verdwijnt maakt de grondwaterstand als het ware een sprong naar beneden tot op het niveau van de grondwaterstand in de zandafzettingen beneden de keileemlaag.

Relatie vochttekort - opbrengstdepressie

65-66 Voor het vaststellen van de opbrengstdepressie als gevolg van het optredende vochttekort is gebruik gemaakt van het door Van Boheemen gevonden verband tussen de meeropbrengst per mm vocht en het potentiële produktieniveau (zie figuur 2.11).

75 Het jaarlijkse potentiële produktieniveau is berekend op basis van vergelijking (14). Hierbij is uitgegaan van de in tabel 13 gegeven waarden voor het gemiddelde potentiële produktieniveau. Ter illustratie is in onderstaande tabel de berekening van het potentiële produktieniveau en de meeropbrengst per mm vocht voor het jaar 1971 weergegeven.

Gem. potentiële verdamping (\bar{E}_p)	: 450 mm
Gem. potentiële produktie (\bar{Q}_p)	: 12500 kg ds. ha ⁻¹ (tabel 13)
Potentiële verdamping (E_p) in 1971	: 470 mm
Potentiële produktie (Q_p) in 1971	: 13055 kg ds. ha ⁻¹ (verg. 14)
meeropbrengst per mm vocht in 1971	: 27,8 kg ds. mm ⁻¹ (fig. 2.11).

87-90 Opbrengstdepressie door wateroverlast

100-102 De opbrengstdepressie door wateroverlast voor de uitgangssituatie en de beide verlaagde situaties is bepaald aan de hand van de in figuur 3.5 gegeven curven voor de gemiddelde opbrengstdepressie en een wateroverlastfactor (f_w) gebaseerd op de relatieve neerslagsom per jaar (verg. 16).

De berekening van de opbrengstdepressie door wateroverlast in de uitgangssituatie in 1971 voor het kaartvlak nummer 46 wordt geïllustreerd in onderstaande tabel.

GHG uitgangssituatie	: 30 cm -mv.
GLG uitgangssituatie	: 110 cm -mv.
Gem. opbrengstdepressie wateroverlast	: 3,8% (fig. 3.5B)
Neerslagsom in 1971	: 561 mm
Gem. neerslagsom	: 797 mm
Wateroverlastfactor 1971	: 0,11 (verg. 16)
Opbrengstdepressie wateroverlast in 1971:	0,4%

7. Uitkomsten van de berekening van de opbrengstverandering

Op basis van de in paragraaf 6 beschreven invoergegevens is per vlak de jaarlijkse opbrengstdepressie door vochttekort en door wateroverlast berekend voor zowel de uitgangssituatie als voor de onderscheiden verlaagde situaties. Voor de uitgangssituatie en voor de huidige, verlaagde situatie zijn tevens de gemiddelde opbrengstdepressies over de periode 1953 t/m 1982 berekend, op basis van het huidige gemiddeld potentiële produktieniveau van 13,5 ton droge stof per ha. Ter illustratie is in bijlage G de uitvoer van de berekeningen gegeven voor de kaartvlakken nr. 46.

Uit praktische overwegingen zijn van de overige vlakken uitsluitend de berekeningsresultaten weergegeven welke betrekking hebben op het 30-jarig gemiddelde (bijlage H).

De opbrengstdepressies door vochttekort zijn zowel in de uitgangssituatie als in de verlaagde situatie het grootst op de relatief hoog gelegen gronden met een dun humeus dek (veldpodzolgrond op Gt VI). De toename van de opbrengstdepressie door vochttekort is daarentegen het grootst op de lager gelegen gronden (Gt III en V).

Met uitzondering van de hoge enkeerdgronden en de hoge veldpodzolgronden was er in de uitgangssituatie in meer of mindere mate sprake van opbrengstdepressies door wateroverlast. In de huidige verlaagde situatie is de wateroverlast vrijwel volledig verdwenen. Alleen op enkele kaartvlakken met keileem in de ondergrond en op enkele laag gelegen beekerdgronden komt nog enige depressie door wateroverlast voor.

De totale netto opbrengstverandering als gevolg van de wateronttrekking varieert van een opbrengstdaling van 6 à 8% op de gronden in de directe omgeving van de winplaats tot opbrengstverhogingen van 0 tot ca. 7% (kaartvlak 35 niet meegerekend) op de relatief laag gelegen gronden en de keileemgronden.

De opbrengstdepressie door vochttekort is gemiddeld over alle 60 kaartvlakken toegenomen van 10,1% in de uitgangssituatie tot 16,5% in de huidige verlaagde situatie. De opbrengstdepressie door wateroverlast is daarentegen verminderd van gemiddeld 5,0% tot 0,3%.

105-117 8. Financiële waardering van de opbrengstveranderingen

Voor de berekening van de schade of het voordeel als gevolg van de opgetreden opbrengstveranderingen worden de procentuele opbrengstveranderingen omgerekend tot veranderingen in beschikbare hoeveelheden voederwaarde (kVEM). Hierbij wordt uitgegaan van de netto potentiële droge stof produktie per jaar. Aangenomen is dat de netto potentiële produktie 30% lager is de berekende bruto potentiële produktie.

105-106 Het verschil bruto-netto produktie wordt behalve door beweidings- en voederwinningsverliezen mede veroorzaakt doordat onder praktijkomstandigheden de voorwaarden voor een potentiële groei niet steeds aanwezig zijn.

Voor de berekening van de voederwaarde van de gederfde opbrengst is er vanuit gegaan dat 75% van het totale verlies aan netto droge stof (ds) produktie ten koste gaat van de eigen ruwvoederwinning en 25% ten koste van de beschikbare hoeveelheid weidegras. Op basis van deze verhouding zijn voor opeenvolgende groepen van jaren de voederwaarden per kg ds berekend. Hierbij is rekening gehouden met de ontwikkelingen in de graslandverzorging en in de ruwvoederwinnings- en conserveringsmethoden

die in de loop der jaren hebben plaatsgevonden. De berekening resulteert in de in onderstaande tabel weergegeven gemiddelde voederwaarden per periode.

Periode	Gemiddelde voederwaarde van de gederfde ds. produktie (kVEM/kg ds)
1953 t/m 1957	0,750
1958 t/m 1967	0,770
1968 t/m 1972	0,800
1973 t/m 1979	0,820
1980	0,840

Aan de hand van de berekende actuele netto potentiële produktie per ha, de procentuele opbrengstverandering en de gemiddelde voederwaarde per kg droge stof kan per jaar de netto opbrengstverandering in kVEM per ha worden berekend.

- 108-109 Voor het vaststellen van de schade of het voordeel wordt de berekende opbrengstverandering gewaardeerd op basis van aankoop van vervangend ruwvoer en krachtvoer, elk in gelijke delen.
- 117 De prijzen voor aankoop van deze produkten zijn ontleend aan tabel 21. In de onderstaande tabel is een voorbeeld gegeven van de berekening van de netto produktieverandering in kVEM en de netto schade op kaartvlak 46 in het jaar 1971.

Totale netto opbrengstverandering	: - 5,6%
Netto potentiële opbrengst	: 9138 kg ds. ha ⁻¹
gemiddelde voederwaarde	: 0,800 kVEM.kg ds ⁻¹

Netto opbrengstverandering:

$$- \frac{5,6}{100} \times 9138 \times 0,800 = - 409,38 \text{ kVEM.ha}^{-1}$$

Prijs aankoop ruwvoer	: 0,313 f.kVEM ⁻¹ (tabel 21)
Prijs aankoop krachtvoer	: 0,388 f.kVEM ⁻¹ (tabel 21)

$$\text{Schade: } 409,38 \times \frac{0,313+0,388}{2} = 143,49 \text{ f.ha}^{-1}$$

121-136 9. Schade met betrekking tot de particuliere watervoorziening

In het onderzochte gebied liggen een 4-tal winningsmiddelen voor particuliere watervoorziening. Deze zijn aangegeven op bijlage C (genummerd a, b, c en d). De eventuele schade wordt onderstaand per winningsmiddel berekend.

Ad a

124 Dit betreft een geslagen puntstuk aangesloten op een hydrofoorinstallatie welke gebruikt wordt voor de watervoorziening van het bedrijf en voor veedrenking in de percelen nabij de boerderij. De GLG ter plaatse van het winningsmiddel is als gevolg van de wateronttrekking met 100 cm verlaagd van 170 tot 270 cm beneden het maaiveld.

130 Aangezien de huidige GLG zich minder dan 5 m beneden de opstelling van de pomp bevindt is de praktische bruikbaarheid van de installatie door de opgetreden verlaging niet verminderd. Er is derhalve geen grond voor toekenning van schadevergoeding.

Ad b

- 122 Deze voorziening betreft een drinkkolk in een perceel grasland ten behoeve van de watervoorziening van het vee in de weideperiode. Als gevolg van de optredende verlaging (90 cm) functioneerde deze voorziening niet meer.
- 129 De schade is in 1959 ondervangen door aanleg van een waterput van betonnen ringen tot een diepte van 2 m beneden het maaiveld en aanschaf van twee weidepompjes. Door toename van de onttrekkingshoeveelheid ontstonden in de zeventiger jaren opnieuw problemen met de veedrenking. In 1975 is de put vervangen door een gespoten filterbuis. De schade wordt als volgt berekend.

Kosten ondervangende maatregelen

133	Aanleg ringen put 1959	f 100,-- (Tabel 22)
	Aanschaf 2 weidepompjes à f 87,--	f 174,--
133	Gespoten filterbuis 1975	f 180,-- (Tabel 22)
136	Aanloopschade (alleen 1e maal)	f 250,-- (Tabel 24)
		<hr/>
	Totaal schade	f 704,-- =====

N.B. De kosten van de ondervangende maatregelen zijn gebaseerd op normbedragen aangezien hiervan geen rekeningen konden worden overlegd. Van de aanschaf van weidepompen was wel een rekening aanwezig.

- 132 - De gespoten filterbuis is aangelegd in 1975. Gelet op de grootte van de verlaging en de GLG ter plaatse heeft de ringenput reeds in 1972 zijn praktische bruikbaarheid verloren. Voor de schadebepaling is daarom 1972 als peildatum aangehouden.
- 127 - Het meerdere malen vergoeden van ondervangende maatregelen vindt alleen plaats in geval van schade door uitbreiding van de wateronttrekking, welke op het tijdstip waarop de eerste maal ondervanging plaatsvond, niet was te voorzien.
- 135 - de aanloopschade komt slechts éénmaal voor vergoeding in aanmerking.

Ad c

- 122 Dit betreft een gemetselde veedrenkput welke werd gebruikt voor vee-drenking in de weideperiode. In 1976 is de put gedempt en vervangen door een automatische drinkbak aangesloten op de openbare waterleiding. De GLG is thans ca. 225 cm beneden het maaiveld. In de uitgangssituatie was de GLG 170 cm-m.v.
Door de eigenaar wordt vergoeding geclaimd voor de kosten voor aansluiting op het waterleidingnet ten bedrage van f 738,80 (volgens overlegde rekening) en vergoeding van de waterkosten.
- 128 Aangezien de GLG ter plaatse ondieper is dan 3,5 m beneden het maaiveld was ondervanging door een gespoten filterbuis zeer goed mogelijk geweest. De kosten hiervan zouden minder hebben bedragen dan de kosten van aansluiting op het waterleidingnet. Op grond hiervan komen de gemaakte kosten niet volledig voor vergoeding in aanmerking.
- 127 De schadevergoeding wordt berekend als hieronder is weergegeven. In de periode 1953 t/m 1971 bedroeg de verlaging als gevolg van de wateronttrekking minder dan 25 cm. Over deze periode wordt de schade gesteld op 50% van de schade bij een verlaging van meer dan 25 cm. In de periode vanaf 1972 bedraagt de verlaging 55 cm. De toename van de verlaging is niet van zo'n grote omvang dat opnieuw ondervangende maatregelen noodzakelijk zijn. Aangezien de totale verlaging in de periode vanaf 1972 groter is dan 25 cm komt de resterende 50% van de kosten van ondervangende maatregelen met ingang van die datum voor vergoeding in aanmerking. De totale schadevergoeding bedraagt derhalve:

Kosten ondervangende maatregelen

133	1e periode 50% van f 100,-- = f 50,-- (Tabel 22)
133	2e periode 50% van f 180,-- = " 90,-- (Tabel 22)
136	Aanloopschade " 250,-- (Tabel 24)
	Totaal schade f 390,--

Ad d

127

Dit betreft eveneens een weideput voor de veedrenking. De verlaging van de GLG bedraagt thans 20 cm. In de periode vóór 1972 bedroeg de verlaging 10 cm. De schadevergoeding wordt vastgesteld op 50% van de kosten voor ondervangende maatregelen alsmede 50% van de aanloopkosten.

Kosten ondervangende maatregelen 50% van f 100,--	= f 50,-- (Tabel 22)
Aanloop schade 50% van f 250,--	= " <u>125,--</u> (Tabel 24)
Totaal schade	f 175,--

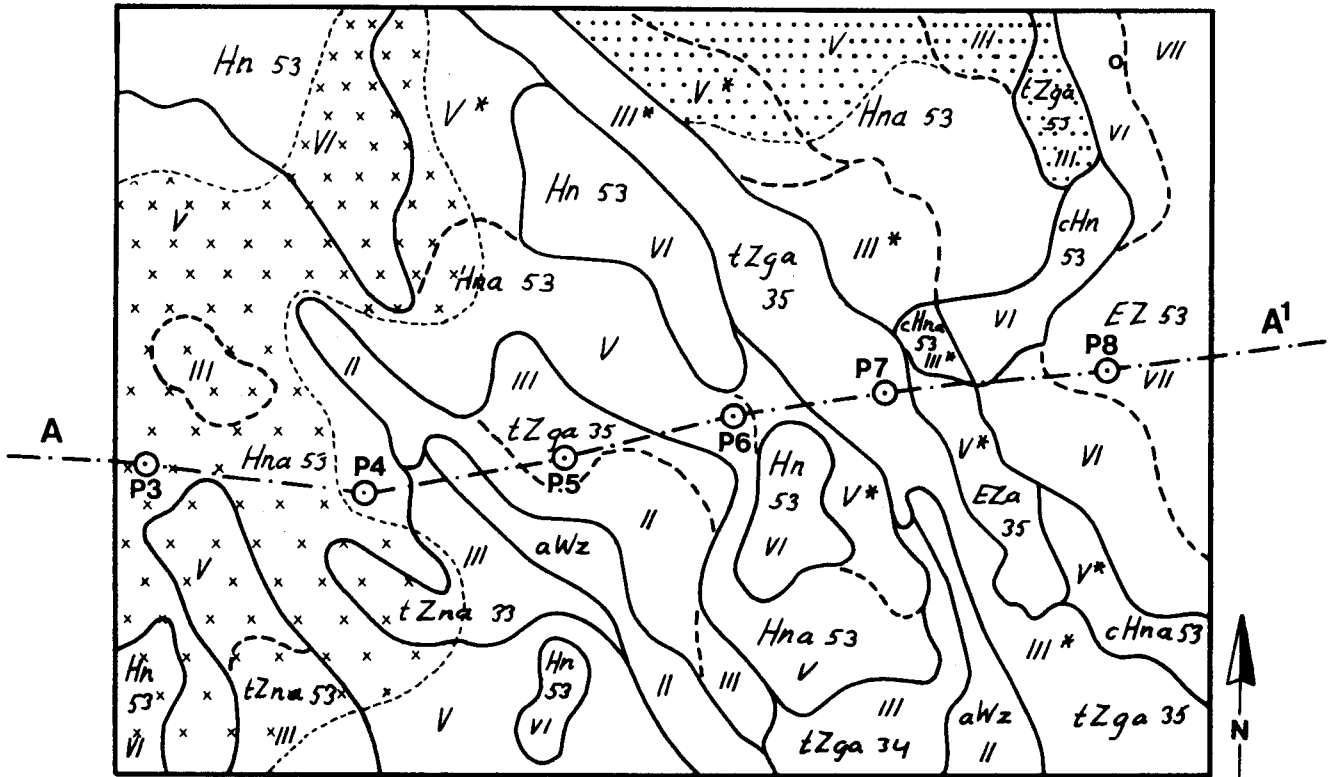
10. Ten besluite

Zoals in de inleiding van dit voorbeeld reeds is vermeld kunnen in een enkel voorbeeld niet alle aspecten van de berekening van de landbouwkundige schade als gevolg van grondwateronttrekking aan bod komen. Beoogd wordt met dit voorbeeld enig inzicht te verschaffen in de werkwijze van schadeberekening zoals deze thans door de CoGroWa wordt toegepast ¹⁾. Wellicht draagt dit bij tot een grotere mate van uniformiteit bij de berekening van schade als gevolg van grondwateronttrekking in geval van onderlinge regelingen.

¹⁾ De wijze waarop bij de berekening van de schade ten gevolge van grondwateronttrekking rekening moet worden gehouden met de effecten van ruilverkavelings- en/of waterschapswerken vormt nog onderwerp van discussie. Te verwachten is dat ten aanzien hiervan in de toekomst een andere benadering gevolgd zal gaan worden dan in dit voorbeeld is aangegeven.

BODEMKAART
Schaal 1:10.000

----- Profieldoorsnede
○ P3 Peilbuis nr. 3



LEGENDA
ZANDGRONDEN

podzolgronden		eerdgronden				
veldpodzolgronden	laarpodzolgronden	enkeerdgronden	gooreerdgronden	beekeerdgronden	textuur van de bovenste 30 cm	
					zandgrofheid	lemigheid
dikte van de humushoudende bovengrond(A1) in cm						
< 30	30 - 50	≥ 50	15 - 30	15 - 30		
hoog en middelhoog. GHG dieper dan 40 cm - maaiveld						
Hn53	cHn53	EZ53			matig fijn	zwak lemig
laag en zeer laag. GHG ondieper dan 40 cm - maaiveld						
Hna53	cHna53		tZna53	tZga53	matig fijn	zwak lemig
			tZna33		zeer fijn	zwak lemig
		EZa35		tZga35	zeer fijn	sterk lemig
				tZga34	zeer fijn	zwak en sterk lemig

MOERIGE GRONDEN

moerige eerdgronden: broekeerdgronden		
aard van de 15-40 cm dikke bovengrond	kleiarme moerige aardlaag	zanddek met of zonder minerale aardlaag
aWz		zWz
		aard van de ondergrond
		zand zonder duidelijke humuspodzol-B

TOEVOEGINGEN

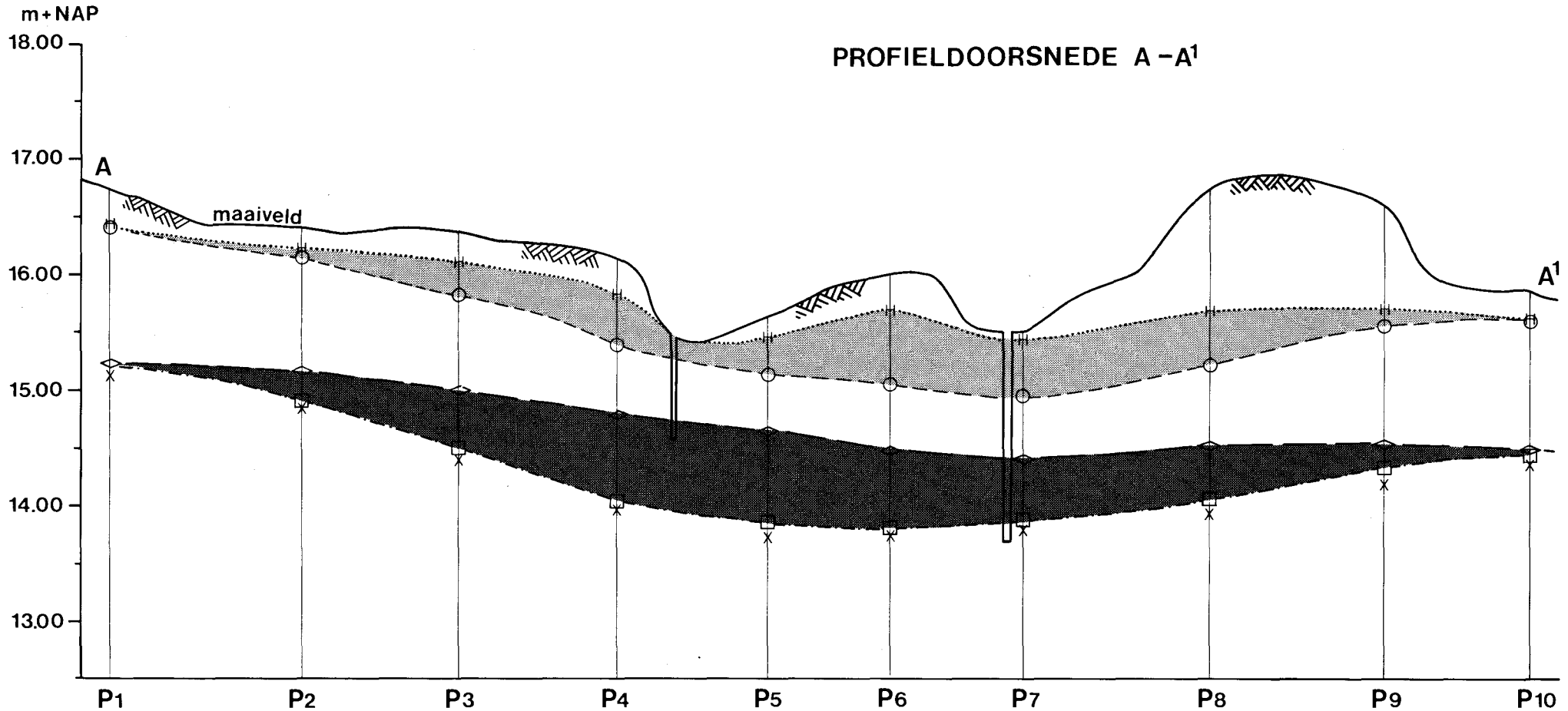
keileemondergrond beginnen tussen 80 en 150 cm - mv.

grind en/of grof zand beginnend tussen 40 en 120 cm - mv.

GRONDWATERTRAPPEN

Grondwatertrap (Gt)	I	II	III	IV	V	VI	VII
Gemiddeld hoogste grondwaterstand in cm beneden maaiveld (GHG)	<20	<40	<40	>40	<40	40-80	>80
Gemiddeld laagste grondwaterstand in cm beneden maaiveld (GLG)	<50	50-80	80-120	80-120	>120	>120	(>160)

Gt II*, III* en V*: droger deel van Gt II, III en V (zie hoofdstuk 1)

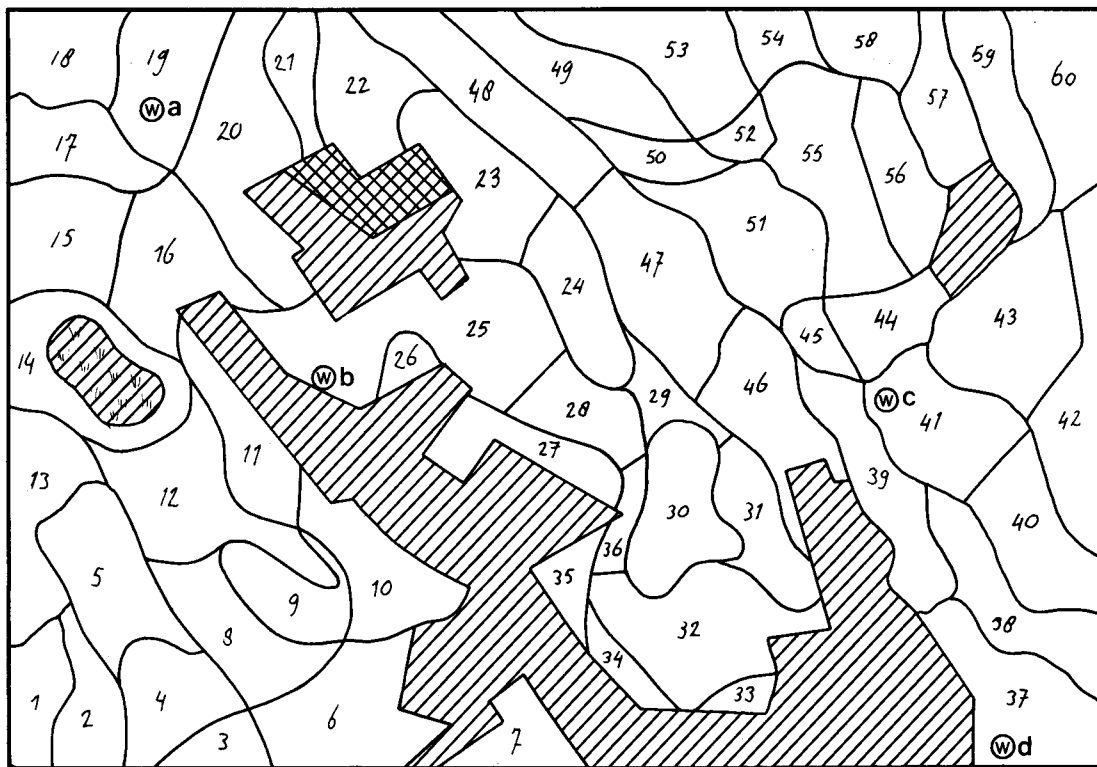


Legenda

- | | | | |
|-----------|---|--|-------------------------|
| H.....H | geschatte "oude" GHG | | geschatte verlaging GHG |
| ○- - - -○ | geschatte huidige GHG | | geschatte verlaging GLG |
| ◇- - - -◇ | geschatte "oude" GLG | | |
| □- - - -□ | geschatte huidige GLG | | |
| x | gemeten grondwaterstand
d.d. 14-9-1983 | | |



VLAKKENKAART
Schaal 1:10000



Legenda



vlaknummer



niet in cultuur (bos, heide, dobbe)



waterwinplaats



particulier winningsmiddel voor wateronttrekking

REKENGEGEVENS LAGO VOORBEELD SCHADEBEREKENING

30/11/83

VLAK- NUM- MER	BOVENGROND		GEM. KEI- LEEM- BEGIN- DIEPTE IN CM-MV	ONDER- GROND- TYPE NR.	UITGANGS- SITUATIE			VERLAAGDE SITUATIE						NETTO OPBRENGSTVERANDERING	
	DIKTE IN CM	VOCHT- KARAK- TERIS- TIEK NR.			GHG IN CM	GVG IN CM	GLG IN CM	1			2			VOCHT- TEKORT %	WATER- OVERLAST %
								-MV	-MV	-MV	-MV	-MV	-MV			-MV
1	25	3	60	7	50	70	160	60	90	190	80	130	210	-2.3	0.0
2	25	3	60	7	20	30	135	25	45	165	30	70	185	-5.0	5.0
3	20	4	-	2	20	35	120	35	55	140	50	70	160	-6.8	8.4
4	20	4	55	7	15	25	115	20	35	145	25	45	175	-5.9	7.8
5	20	4	85	9	20	35	140	25	45	170	35	65	200	-2.4	6.2
6	25	2	-	2	20	40	135	35	60	155	55	85	185	-5.9	7.4
7	25	2	-	2	20	40	135	30	55	155	50	75	200	-5.6	7.4
8	25	3	90	9	15	25	130	25	40	170	45	75	200	-3.1	10.7
9	20	4	85	8	10	30	115	20	45	155	35	70	195	-10.5	14.6
10	20	4	-	3	25	40	115	45	65	145	65	90	175	-8.3	6.0
11	20	3	-	2	25	45	130	45	70	170	75	105	210	-8.6	5.2
12	25	2	90	8	20	35	135	30	55	175	40	80	215	-8.0	7.4
13	25	2	135	10	20	40	135	35	65	175	55	85	205	-6.8	7.4
14	25	3	60	7	15	30	125	25	50	165	35	110	205	-6.7	10.1
15	25	2	90	9	20	45	150	30	70	190	45	95	230	-4.4	6.7
16	25	3	90	8	20	45	140	60	120	200	90	160	240	-7.6	7.2
17	25	2	-	1	30	55	150	70	100	200	110	140	240	-7.6	2.6
18	25	2	-	1	65	90	170	100	125	210	140	170	250	-4.3	0.0
19	25	2	-	1	65	90	170	110	135	220	150	180	270	-4.9	0.0
20	25	3	90	9	50	70	160	65	120	235	80	190	285	-6.9	0.0
21	25	3	90	8	35	55	160	85	150	240	180	200	290	-6.8	1.0
22	25	3	-	1	30	55	150	80	115	220	120	160	270	-8.5	2.6
23	25	2	-	1	45	70	155	100	130	225	140	175	275	-7.7	0.0
24	25	2	-	1	45	70	155	80	115	205	120	155	255	-6.6	0.0
25	25	3	-	2	25	50	140	80	100	200	130	180	250	-11.4	4.8
26	20	4	-	3	20	35	110	50	75	160	80	110	200	-12.1	9.2
27	20	5	-	3	20	35	110	30	50	140	60	85	180	-7.9	9.2
28	25	3	-	2	25	50	140	55	85	180	90	120	220	-9.0	4.8
29	25	3	-	1	35	55	140	70	90	180	110	130	220	-7.0	1.2
30	25	2	-	1	50	75	160	85	110	200	110	140	230	-5.4	0.0
31	25	2	-	1	35	60	140	55	85	170	80	110	200	-5.8	1.2
32	25	2	-	3	20	40	135	35	55	155	60	80	185	-4.7	7.4
33	20	6	-	3	20	35	110	25	45	120	35	60	140	-4.0	8.0
34	20	5	-	3	15	25	110	20	35	130	30	50	150	-6.0	10.0
35	15	6	-	3	10	20	70	20	30	90	30	45	120	-6.0	21.0
36	25	3	-	2	25	50	140	45	75	170	65	100	200	-7.5	4.8
37	20	5	-	2	30	50	110	35	55	120	40	65	130	-3.5	3.8
38	30	4	-	1	30	50	125	35	60	135	40	70	155	-2.9	3.2
39	35	6	-	11	30	50	125	40	65	145	50	80	165	-3.7	3.2
40	40	4	-	11	70	95	170	80	105	180	100	125	200	-2.4	0.0
41	40	4	-	11	70	95	170	90	115	190	120	145	220	-4.3	0.0
42	40	4	-	12	120	140	215	130	150	225	150	170	245	-1.7	0.0
43	40	4	-	12	120	140	215	140	160	235	160	180	255	-2.8	0.0
44	35	4	-	1	65	90	170	90	115	200	120	145	230	-4.1	0.0
45	30	6	-	1	30	50	115	50	75	145	75	100	175	-7.5	3.6
46	20	6	-	2	30	50	110	40	65	130	55	85	160	-6.4	3.8
47	20	6	-	2	30	50	110	50	80	140	75	105	180	-9.3	3.8
48	20	6	-	3	30	50	110	60	90	150	100	130	210	-10.3	3.8
49	25	2	-	4	35	55	140	75	100	190	110	140	230	-9.6	1.2
50	25	2	-	1	35	55	140	75	100	190	110	140	230	-8.0	1.2
51	20	3	-	1	30	50	115	60	85	155	85	110	185	-10.1	3.6
52	25	2	-	1	25	50	140	60	90	180	100	130	220	-7.4	4.8
53	25	2	-	5	25	50	140	60	90	180	100	130	220	-7.9	4.8
54	25	2	-	6	25	50	140	60	90	180	90	120	210	-7.3	4.8
55	25	2	-	1	25	50	140	60	90	180	90	120	210	-7.4	4.8
56	25	2	-	1	25	50	140	50	80	170	75	110	200	-6.2	4.8
57	20	4	-	5	15	30	105	30	50	135	45	65	155	-8.1	13.2
58	20	3	-	4	20	40	115	40	60	145	55	75	165	-8.0	8.8
59	40	4	-	11	50	75	160	65	90	180	80	110	200	-3.8	0.0
60	40	4	-	12	100	120	200	120	140	220	140	160	240	-3.2	0.0

Bijlage E

Verklaring van de aan de wortelzone toegekende vocht karakteristieken.

Nr. vocht- karakteristiek		1	2	3	4	5	6	7	8	9
pF	h	Vochtgehalte in vol. %								
0	0	36,6	38,6	41,0	42,8	44,5	47,5	52,5	53,0	78,5
1,0	10	36,4	38,3	40,7	42,3	44,0	46,8	50,2	51,6	75,1
1,3	20	36,0	38,0	40,0	41,8	43,5	46,0	48,5	50,6	73,5
1,5	31	35,0	37,1	39,0	40,7	42,6	45,1	47,1	50,2	71,7
1,7	50	32,5	34,6	36,8	38,6	40,5	41,9	45,2	48,0	70,5
2,0	100	25,0	27,1	29,5	31,5	33,7	36,0	41,0	45,9	66,8
2,4	250	16,2	18,1	21,0	22,7	24,5	27,0	34,0	38,5	60,0
2,7	500	13,2	15,2	17,7	19,8	21,4	23,3	29,1	30,3	54,5
3,0	1000	11,0	12,9	14,8	16,3	17,7	19,1	24,0	25,0	47,5
3,4	2500	8,5	9,9	11,2	12,4	13,7	15,0	17,5	17,9	38,0
3,7	5000	7,0	8,2	9,3	10,0	10,8	11,5	14,5	16,2	33,0
4,0	10000	5,7	6,6	7,5	8,2	9,0	9,8	12,0	14,0	28,0
4,2	16000	5,0	5,7	6,5	7,1	7,8	8,6	10,5	12,7	26,0

Schematische opbouw van de onderscheiden ondergrond-typen en de per laag toegekende code voor de K(h) relaties.

nr. ondergrond type	1e laag		2e laag		3e laag	
	diepte (cm) t.o.v. onder- kant van de effectieve wortelzone	code K(h) relatie	diepte (cm) t.o.v. onder- kant van de effectieve wortelzone	code K(h) relatie	diepte (cm) t.o.v. onder- kant van de effectieve wortelzone	code K(h) relatie
1	> 0	L21				
2	> 0	R3				
3	0 - 60	L21	> 60	R3		
4	0 - 30	L21	30 - 40	R1	> 40	L21
5	0 - 60	L21	60 - 75	R1	> 75	L21
6	0 - 90	L21	90 - 120	R1	> 120	L21
7	0 - 35	R3	35 - 85	S1	> 85	L22
8	0 - 65	R3	65 - 90	S1	> 90	L22
9	0 - 65	L21	65 - 145	S1	> 145	L22
10	0 - 110	L21	> 110	S1		
11	0 - 15	R5	> 15	R3		
12	0 - 40	R5	> 40	R3		

Verklaring van de aan de ondergrond toegekende K(h) relaties

K(h) relatie	L21	L22	R3	R5	R1	S1
Ko(cm dag ⁻¹)	70	70	110	1,0	1120	-
(cm ⁻¹)	0,085	0,085	0,082	0,0269	0,224	-
n	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,164
a(cm ⁿ⁺¹ dag ⁻¹)	2,5	2,5	3,3	15,0	0,080	4,74
|h _a| (cm)	0	0	0	0	10	-
|h _{lim}| (cm)	120	120	125	165	80	-
Nr. vocht- karakteristiek	4.6	4.3	R3	R5	R1	S1
K = K _o			voor |h| ≤ |h _a|			K = a |h ⁻ⁿ
K = K _o e ^{-α(|h| - |h_a)}			voor |h _a| < |h| < |h _{lim}|			
K = a |h ⁻ⁿ			voor |h| ≥ |h _{lim}|			

Verklaring van de aan de ondergrond toegekende vochtkarakteristieken

Nr. vocht- karakteristiek	4.6	4.3	R3	R5	R1	S1	
pF	|h|	Vochtgehalte in vol. %					
0	0	39,3	35,6	35,0	47,0	39,5	30,0
1	10	35,2	33,0	32,5	46,0	21,5	29,0
1,3	20	34,5	31,0	31,6	45,0	15,0	28,7
1,5	31	32,8	28,0	30,5	44,0	10,7	28,2
1,7	50	29,7	23,4	26,5	42,8	7,2	27,5
2,0	100	20,8	18,8	15,5	40,5	3,2	26,1
2,4	250	11,5	12,8	7,7	34,5	2,2	24,7
2,7	500	9,4	9,6	6,1	29,3	1,8	23,5
3,0	1000	6,6	7,4	5,0	22,7	1,5	22,0
3,4	2500	3,7	3,7	4,3	17,4	1,4	20,0
3,7	5000	3,0	3,0	3,2	13,2	1,3	18,5
4,0	10000	2,5	2,5	2,5	11,9	1,2	17,0
4,2	16000	2,4	2,7	2,3	10,5	1,1	15,8

Verklaring van de aan de ondergrond toegekende K(h) relaties

K(h) relatie	L21	L22	R3	R5	R1	S1
Ko(cm dag ⁻¹)	70	70	110	1,0	1120	-
(cm ⁻¹)	0,085	0,085	0,082	0,0269	0,224	-
n	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,164
a(cm ⁿ⁺¹ dag ⁻¹)	2,5	2,5	3,3	15,0	0,080	4,74
|h _a| (cm)	0	0	0	0	10	-
|h _{lim}| (cm)	120	120	125	165	80	-
Nr. vocht- karakteristiek	4.6	4.3	R3	R5	R1	S1
$K = K_o$ $K = K_{oe}^{-\alpha(|h| - |h_a|)}$ $K = a |h|^{-n}$			voor $|h| \leq |h_a|$ voor $|h_a| < |h| < |h_{lim}|$ voor $|h| \geq |h_{lim}|$			$K = a |h|^{-n}$

Verklaring van de aan de ondergrond toegekende vochtkarakteristieken

Nr. vocht- karakteristiek	4.6	4.3	R3	R5	R1	S1	
pF	|h|	Vochtgehalte in vol. %					
0	0	39,3	35,6	35,0	47,0	39,5	30,0
1	10	35,2	33,0	32,5	46,0	21,5	29,0
1,3	20	34,5	31,0	31,6	45,0	15,0	28,7
1,5	31	32,8	28,0	30,5	44,0	10,7	28,2
1,7	50	29,7	23,4	26,5	42,8	7,2	27,5
2,0	100	20,8	18,8	15,5	40,5	3,2	26,1
2,4	250	11,5	12,8	7,7	34,5	2,2	24,7
2,7	500	9,4	9,6	6,1	29,3	1,8	23,5
3,0	1000	6,6	7,4	5,0	22,7	1,5	22,0
3,4	2500	3,7	3,7	4,3	17,4	1,4	20,0
3,7	5000	3,0	3,0	3,2	13,2	1,3	18,5
4,0	10000	2,5	2,5	2,5	11,9	1,2	17,0
4,2	16000	2,4	2,7	2,3	10,5	1,1	15,8

VLAK NR. 46

OBJEKT: LAGO VOORBEELD SCHADEBEREKENING

DATUM: 23/11/83

BOVENGROND		ONDERGROND		GRONDWATER- STAND (CM-MV)	UITGANGSSITUATIE			VERLAAGDE SITUATIE (S)					
					1	2	3	1	2	3	4	5	6
DIKTE (CM) :	20	TYPE NR. :	2	GHG :	30	0	0	40	55	0	0	0	0
VOCHT- KARAKTERISTIEK NR. :	6	BEGINDEPTE KEILEEM (CM-MV) :	-	GVG :	50	0	0	65	85	0	0	0	0
				GLG :	110	0	0	130	160	0	0	0	0
GEWAS : GRASLAND		BEREKENINGSPERIODE : 1 APR. - 1 OKT.				GROEISEIZOEN : 1 APR. - 1 OKT.							

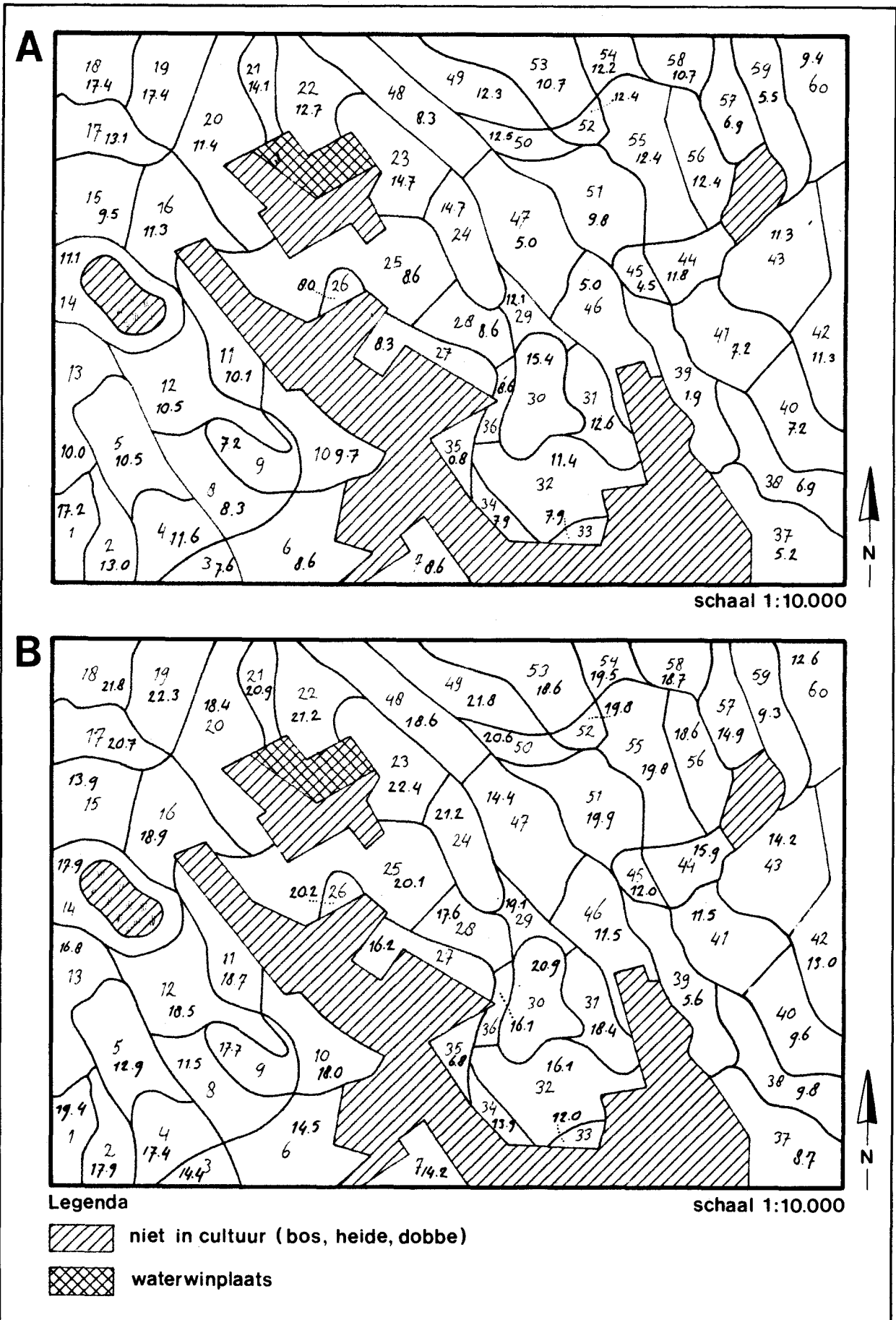
UITGANGSSITUATIE

JAAR	UITG. SITU- ATIE NR.	POTENTIELE VERDAMPING MM	NEER SLAG MM	VOCHT- TEKORT MM	VOCHT- TEKORT 0/0	GEMIDDELDE POTENTIELE OPBRENGST KG.DS/HA	AKTUELE OPBRENGST BRUTO KG.DS/HA	POTENTIELE OPBRENGST NETTO KG.DS/HA	OPBRENGST DERVING KG.DS/MM	OPBRENGST- DEPRESSIE VOCHTTEKORT 0/0	OPBRENGST- DEPRESSIE WATEROVERL. 0/0
1953	1.	486.	424.	0.	0.0	11000.	11879.	8316.	22.7	0.0	1.1
1954	1.	453.	464.	10.	2.1	11000.	11077.	7754.	19.3	1.7	4.1
1955	1.	474.	308.	24.	5.1	11000.	11586.	8110.	21.4	4.5	1.9
1956	1.	413.	424.	0.	0.0	11000.	10098.	7069.	15.3	0.0	3.2
1957	1.	474.	584.	20.	4.3	11000.	11586.	8110.	21.4	3.7	5.6
1958	1.	441.	433.	0.	0.0	11500.	11274.	7892.	20.1	0.0	4.3
1959	1.	562.	201.	164.	29.2	11500.	14384.	10068.	34.3	39.1	0.1
1960	1.	450.	404.	0.	0.0	11500.	11499.	8049.	21.1	0.0	5.7
1961	1.	413.	425.	0.	0.0	11500.	10557.	7390.	17.2	0.0	5.5
1962	1.	388.	363.	0.	0.0	11500.	9923.	6946.	14.5	0.0	3.3
1963	1.	409.	493.	0.	0.0	12000.	10910.	7637.	18.6	0.0	3.5
1964	1.	459.	386.	0.	0.0	12000.	12255.	8578.	24.2	0.0	3.1
1965	1.	402.	646.	0.	0.0	12000.	10739.	7517.	17.9	0.0	9.0
1966	1.	424.	571.	0.	0.0	12000.	11315.	7921.	20.3	0.0	8.8
1967	1.	445.	355.	28.	6.2	12000.	11870.	8309.	22.6	5.3	4.7
1968	1.	418.	549.	0.	0.0	12500.	11631.	8142.	21.6	0.0	4.8
1969	1.	469.	458.	13.	2.8	12500.	13032.	9123.	27.7	2.8	3.1
1970	1.	462.	418.	16.	3.5	12500.	12854.	8998.	26.8	3.3	5.4
1971	1.	470.	291.	23.	5.0	12500.	13055.	9138.	27.8	5.0	0.4
1972	1.	428.	412.	0.	0.0	12500.	11898.	8329.	22.7	0.0	1.8
1973	1.	478.	414.	15.	3.1	13000.	13831.	9682.	31.6	3.4	3.6
1974	1.	454.	454.	0.	0.0	13000.	13114.	9180.	28.1	0.0	6.7
1975	1.	503.	314.	60.	12.0	13000.	14548.	10184.	35.1	14.5	1.4
1976	1.	534.	213.	135.	25.4	13000.	15427.	10799.	39.5	34.7	0.2
1977	1.	430.	333.	13.	3.1	13000.	12443.	8710.	25.0	2.7	4.1
1978	1.	418.	293.	13.	3.2	13000.	12073.	8451.	23.5	2.6	1.6
1979	1.	417.	412.	0.	0.0	13000.	12050.	8435.	23.4	0.0	4.9
1980	1.	434.	415.	8.	1.8	13500.	13018.	9113.	27.6	1.7	4.8
1981	1.	413.	359.	0.	0.0	13500.	12394.	8675.	24.8	0.0	6.6
1982	1.	471.	255.	45.	9.6	13500.	14147.	9903.	33.1	10.6	1.0
GEM.	1.	450.	402.	20.	3.9	13500.	13500.	9450.	30.1	5.0	3.8

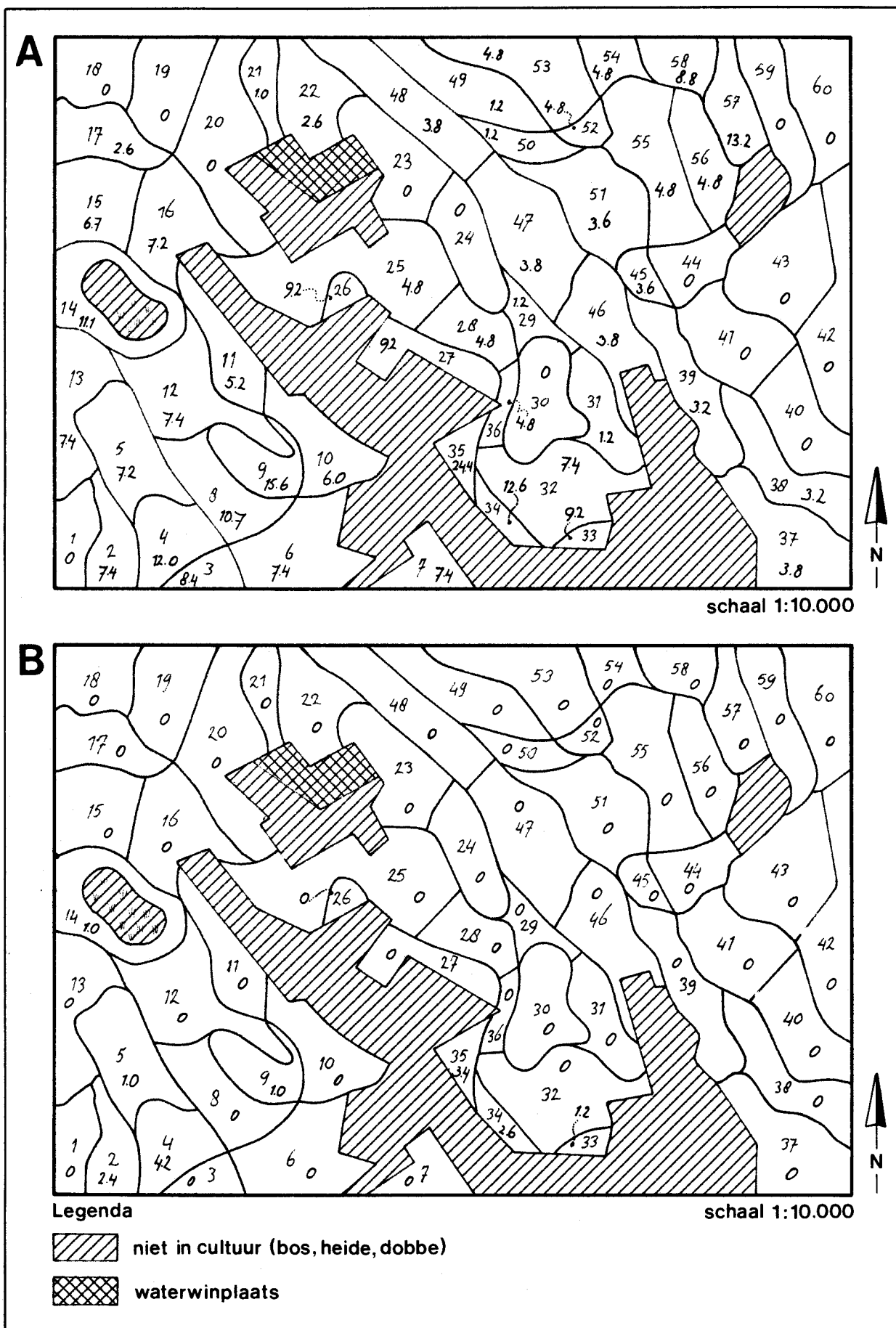
VERLAAGDE SITUATIE (S)

JAAR	VERL. SITU- ATIE NR.	VOCHT- TEKORT MM	VOCHT- TEKORT 0/0	OPBRENGST DERVING KG.DS/MM	OPBRENGST- DEPRESSIE VOCHTTEKORT 0/0	OPBRENGST- DEPRESSIE WATEROVERL. 0/0	NETTO VOCHT- TEKORT 0/0	OPBRENGST- WATER- OVERLAST 0/0	TOTAAL 0/0
1953	1.	25.3	5.2	22.7	4.8	0.0	-4.8	1.1	-3.7
1954	1.	27.5	6.1	19.3	4.8	0.0	-3.1	4.1	1.0
1955	1.	54.7	11.5	21.4	10.1	0.0	-5.6	1.9	-3.7
1956	1.	.2	.0	15.3	.0	0.0	0.0	3.2	3.2
1957	1.	39.3	8.3	21.4	7.3	0.0	-3.5	5.6	2.1
1958	1.	5.1	1.2	20.1	.9	0.0	-0.9	4.3	3.4
1959	1.	206.6	36.7	34.3	49.2	0.0	-10.1	0.1	-10.0
1960	1.	21.6	4.8	21.1	4.0	0.0	-4.0	5.7	1.7
1961	1.	0.0	0.0	17.2	0.0	0.0	0.0	5.5	5.5
1962	1.	3.3	.9	14.5	.5	0.0	-0.5	3.3	2.8
1963	1.	4.9	1.2	18.6	.8	0.0	-0.8	3.5	2.7
1964	1.	16.4	3.6	24.2	3.3	0.0	-3.3	3.1	-0.2
1965	1.	0.0	0.0	17.9	0.0	0.0	0.0	9.0	9.0
1966	1.	6.4	1.5	20.3	1.2	0.0	-1.2	8.8	7.6
1967	1.	50.1	11.3	22.6	9.5	0.0	-4.3	4.7	0.4
1968	1.	0.0	0.0	21.6	0.0	0.0	0.0	4.8	4.8
1969	1.	37.2	7.9	27.7	7.9	0.0	-5.1	3.1	-2.0
1970	1.	38.8	8.4	26.8	8.1	0.0	-4.8	5.4	0.6
1971	1.	51.4	10.9	27.8	10.9	0.0	-6.0	0.4	-5.6
1972	1.	0.0	0.0	22.7	0.0	0.0	0.0	1.8	1.8
1973	2.	71.5	14.9	31.6	16.3	0.0	-12.9	3.6	-9.3
1974	2.	31.4	6.9	28.1	6.7	0.0	-6.7	6.7	0.0
1975	2.	139.4	27.7	35.1	33.6	0.0	-19.1	1.4	-17.7
1976	2.	226.5	42.4	39.5	58.0	0.0	-23.4	0.2	-23.2
1977	2.	69.2	16.1	25.0	13.9	0.0	-11.2	4.1	-7.1
1978	2.	91.8	22.0	23.5	17.9	0.0	-15.2	1.6	-13.6
1979	2.	16.4	3.9	23.4	3.2	0.0	-3.2	4.9	1.7
1980	2.	55.3	12.7	27.6	11.7	0.0	-10.0	4.8	-5.3
1981	2.	7.9	1.9	24.8	1.6	0.0	-1.6	6.6	5.0
1982	2.	119.0	25.3	33.1	27.9	0.0	-17.3	1.0	-16.3
GEM.	2.	47.2	9.8	30.1	11.5	0.0	-6.4	3.8	-2.6

Gemiddelde opbrengstdepressie door vochttekort voor grasland, in % van de netto potentiële droge stofopbrengst, in de uitgangssituatie (A) en in de huidige door grondwateronttrekking verlaagde situatie (B)



Gemiddelde opbrengstdepressie door wateroverlast voor grasland, in % van de netto potentiële droge stofopbrengst, in de uitgangssituatie (A) en in de huidige door grondwateronttrekking verlaagde situatie (B)



Gemiddelde opbrengstverandering voor grasland door toename van het vochttekort (A) en de totale netto opbrengstverandering (toename vochttekort + vermindering wateroverlast) als gevolg van de grondwateronttrekking (B), uitgedrukt in % van de netto potentiële droge stofopbrengst.

