f17

Bouwrijp maken van terreinen

Prof.ir. W.A. Segeren / ir. H. Hengeveld

TU Delft
Technische Universiteit Delft

Faculteit der Civiele Techniek
Vakgroep Waterbeheer, Milieu- & Gezondheidstechniek
Sectie Land- & Waterbeheer

Technische Universiteit Delft
Faculteit der Civiele Techniek

Bouwrijp maken van terreinen

prof. ir. W. A. Segeren
ir. H. Hengeveld

99

Stichting Bouwresearch

Kluwer Technische Boeken B.V. - Deventer - Antwerpen
Ten Hagen B.V. - Den Haag

Het doel van de Stichting is het coördineren, stimuleren en begeleiden van speurwerk op het gebied van de bouwvoorbereiding, de bouwtechniek en bedrijfstechniek in de bouwnijverheid, alsmede de verbreiding van de resultaten daarvan, zowel ten behoeve van de opleiding als tot de vorming van kennis bij het bouwen.
De Stichting verstrekt opdrachten aan researchinstituten; zij vormt stuurgroepen en studiecommissies voor onderwerpen die zij in opdracht geeft.
De Stichting en degenen die aan deze publikatie hebben medegewerkt, hebben een zo groot mogelijke zorgvuldigheid betracht bij het verwerken – volgens de huidige stand van wetenschap en techniek – van de in deze publikatie vervatte gegevens. Nochtans moet niet worden uitgesloten de mogelijkheid dat zich toch onjuistheden in deze publikatie zouden bevinden. Degene die van deze publikatie gebruik maakt, aanvaardt daarvoor het risico. De Stichting sluit, mede ten behoeve van al degenen die aan deze publikatie hebben medegewerkt, iedere aansprakelijkheid uit voor schade die mocht voortvloeien uit het gebruik van deze gegevens.

ISBN 90 201 1713 0
D/1984/0108/172

© 1984 Kluwer Technische Boeken B.V. - Deventer
© 1984 Ten Hagen B.V. - Den Haag

1e druk 1984

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

No part of this book may be reproduced in any form by print, photoprint, microfilm or any other means without written permission from the publisher.

Inhoud

Woord vooraf 9
Verantwoording door de schrijvers 11
Samenvatting 12
Summary 16

1 Bouwrijp maken van terreinen 21
1.1 Inleiding 21
1.2 Vroegere ontwikkeling van het bouwrijp maken in Nederland 23
1.3 Recente ontwikkelingen van het bouwrijp maken in Nederland 29
1.4 Ruimtelijke ordening, bodemgesteldheid en waterhuishouding 31
1.4.1 Organisatie van de ruimtelijke ordening 31
1.4.2 Bodemgesteldheid, waterhuishouding en ruimtelijk ontwerp 36
1.5 Bouwrijp maken van terreinen 37
1.6 Samenvatting 39

2 De bodemgesteldheid 40
2.1 Inleiding 40
2.2 Bodemclassificatie en bodemeigenschappen 40
2.3 De geologische opbouw van de ondergrond van Nederland 45
2.4 Informatie 51
2.5 De bodem en methoden van bouwrijp maken 53
2.5.1 Het rivierengebied 53
2.5.2 De zandgronden 59
2.5.3 Het klei- en veengebied 65
2.6 Samenvatting 71

3 De waterhuishouding 72
3.1 Inleiding 72
3.2 De hydrologische cyclus 73
3.2.1 Het stedelijk hydrologisch systeem 74
3.2.2 Neerslag en verdamping 78
3.2.3 Neerslag 78
3.2.4 Verdamping 82
3.2.5 Kwel 83
3.2.6 De relatie tussen de neerslag en de afvoer bij het verharde oppervlak 84
3.2.7 Bodem en water 85
3.3 De waterstaatkundige opbouw van Nederland 86
3.3.1 Inleiding 86
3.3.2 Polderland 87
3.3.3 Hellende gebieden 90
3.4 Bestuurlijke organisatie van het waterbeheer 97
3.5 Samenvatting 99

4 Ophogen 100
4.1 Inleiding 100
4.1.1 De begaanbaarheid van terreinen 100
4.1.2 Eisen met betrekking tot de begaanbaarheid en de draagkracht . . 101
4.2 Methoden van ophogen 103
4.3 De cunettenmethode en de grondbalans 105
4.4 Integraal ophogen 110
4.5 Zetting van opgehoogde terreinen 116
4.6 Tijdstip van ophogen 123
4.7 Speciewinning en wijze van ophogen 125
4.7.1 Inleiding 125
4.7.2 Wingebieden 126
4.7.3 Zandwinning en ophoging 130
4.8 De cunettenmethode of integraal ophogen van bouwterreinen 131
4.8.1 Inleiding 131
4.8.2 De afweging in de Nederlandse praktijk 132
4.8.3 De afweging op basis van kosten 135
4.8.4 De afweging op basis van overige aspecten 138
4.9 Samenvatting 139

5 Ontwatering 141
5.1 Inleiding 141
5.2 Begrippen en functies 141
5.3 Drooglegginsgseisen 146
5.4 Juridische aspecten 149
5.5 Drainagesystemen 149
5.5.1 Inleiding 149
5.5.2 Enkelvoudige gebiedsdrainage 151
5.5.3 Samengestelde gebiedsdrainage 151
5.5.4 Cunetdrainage en rioolsleufdrainage 154
5.5.5 Kruiselingse drainage 154
5.5.6 Bouwblokdrainage (ringdrainage) 155
5.5.7 Verticale drainage 157
5.5.8 Diepdrainage gecombineerd met horizontale bronbemaling 158
5.5.9 Evaluatie van drainagesystemen 159
5.6 Dimensionering van de ontwateringsmiddelen 160
5.6.1 Inleiding 160
5.6.2 Afstand van de ontwateringsmiddelen 161
5.6.3 De draindiepte 173
5.6.4 Bepalingen van de buisdiameter 174
5.7 Aanleg en onderhoud van drainagesystemen 175
5.7.1 Aanleg van drainagesystemen 175
5.7.2 Drainagemateriaal 176
5.7.3 Drainage-onderhoud 176
5.8 Samenvatting 178

6 Afwatering 179
6.1 Inleiding 179
6.2 Factoren uit de waterbalans 179
6.2.1 Neerslag en afvoer 179
6.2.2 Afvoer naar buiten het stedelijk gebied 183
6.2.3 Afvoerkunstwerken 185
6.3 Waterhuishoudkundige eisen te stellen aan het open water 186

6.4 De afvoer- en bergingsberekening: de modelkeuze 187
6.5 Rioleringssystemen 189
6.5.1 Inleiding 189
6.5.2 Dimensionering van het rioleringsstelsel 191
6.6 Dimensionering van waterlopen en kunstwerken 198
6.6.1 Hydraulische begrippen 198
6.6.2 Niet-stationaire stromingsberekeningen 201
6.6.3 De bergingsberekening 205
6.6.4 Stationair-eenparige stromingsberekening 214
6.7 Waterkwaliteit 218
6.8 Grachtafstand en grachtpeil 226
6.8.1 De grachtafstand 226
6.8.2 Gracht- en singelpeil 226
6.9 Overige aspecten 229
6.9.1 Vormgeving 229
6.9.2 Verdrinkingsgevaar 233
6.10 Samenvatting 234

7 Het groeimilieu 235
7.1 Inleiding 235
7.1.1 Bouwrijp maken en milieufactoren 235
7.1.2 Stedelijk groen 235
7.1.3 Ecologie 238
7.2 Bodem, water en plant 241
7.2.1 Inleiding 241
7.2.2 Bodemvocht 242
7.2.3 Stroming in de onverzadigde zone 246
7.3 Maatregelen ter verbetering van het groeimilieu 250
7.3.1 Inleiding, probleem en normen 250
7.3.2 Verbeteringsmaatregelen 252
7.4 Begraafplaatsen 262
7.5 Samenvatting 263

8 Kabels en leidingen 264
8.1 Inleiding 264
8.2 Kabel- en leidingensystemen 266
8.2.1 Het gasnet 266
8.2.2 Het elektriciteitsnet 267
8.2.3 Communicatiesystemen 267
8.2.4 Het drinkwaternet 269
8.2.5 Het stadsverwarmingsnet 269
8.2.6 Industrie-transportleidingen 270
8.3 Tracering en ruimtebeslag 270
8.4 Kabels en leidingen in stroken, tunnels en goten 276
8.5 Samenvatting 280

9 Grondkosten en grondprijzen 281
9.1 Inleiding 281
9.2 De begrippen grondkosten en grondprijzen 282
9.3 Kostencomponenten 283
9.3.1 Checklist grondkosten 283
9.3.2 Verwerven van grond 286
9.3.3 Kosten bouw- en woonrijp maken 287

9.4 Grondgebruiksgegevens en verkavelingen 293
9.5 De grondprijzen 298
9.5.1 Verhaal van kosten op het plan 298
9.5.2 Verhaal van kosten binnen het plan 298
9.6 Bodemgeschiktheidsbeoordeling 303
9.6.1 Inleiding 303
9.6.2 Bodemgeschiktheidsbeoordeling op regionaal niveau 305
9.6.3 Bodemgeschiktheidsbeoordeling op bestemmingsplanniveau . . . 309
9.7 Integrale kostenplanning 313
9.7.1 Inleiding 313
9.7.2 Locatie- en inrichtingsaspecten 314
9.7.3 Kwaliteit en onderhoud 315
9.8 Samenvatting 317

10 Methoden van bouwrijp maken, onderzoek en ontwerp 318
10.1 Methoden van bouwrijp maken 318
10.2 Bouwrijp maken, onderzoek en ontwerp 324
10.3 Samenvatting 326

Begrippen 327

Literatuur 330

Trefwoorden 341

Woord vooraf

De Stichting Bouwresearch heeft een goed initiatief genomen, toen zij het bouwrijp maken van terreinen als onderwerp voor één van haar publikaties bestemde. Het gaat om een essentieel gebied van de bouw, waar tot nu toe weinig over is gepubliceerd, maar waar wel veel, vaak uiteenlopende, ervaring mee is opgedaan. In de praktijk was er dan ook lang grote behoefte aan een publikatie die het gehele proces van het bouwrijp maken van terreinen voor woningbouw en industrie integraal zou behandelen.

Bij het zoeken naar deskundigen die dit initiatief zouden moeten verwezenlijken, stuitte de Stichting Bouwresearch op de schrijvers van dit boek, die met dezelfde gedachten rondliepen en de basis ervoor reeds gereed hadden.

Ter advisering van de schrijvers is door de Stichting een begeleidingscommissie gevormd van deskundigen van ingenieursbureaus, van gemeenten, uit het onderzoek en uit het onderwijs. De samenstelling van deze begeleidingscommissie is hierachter opgenomen. In een tweetal ronden heeft de begeleidingscommissie haar adviezen aan de schrijvers verstrekt. Deze zijn vervolgens verwerkt. Hoewel de begeleidingsgroep met de gepresenteerde inhoud van het boek instemt, zijn de schrijvers ervan voor deze inhoud zelf verantwoordelijk.

De voorliggende beschrijving van het bouwrijp maken van terreinen is bedoeld voor al degenen die in de praktijk hiermee te maken hebben. Zowel stedebouwkundigen, als civiel-ingenieurs en cultuurtechnici zullen er veel van hun gading in vinden. Op ingenieursbureaus, bij aannemers en op de bureaus voor stadsontwikkeling en gemeentewerken zal deze eerste systematische beschrijving van het gehele proces van het bouwrijp maken van terreinen niet mogen ontbreken. Tegelijkertijd is de opzet van dit boek zodanig dat het ook in het onderwijs aan onze technische hogescholen en hogere technische scholen zeker een plaats verdient.

Ik wil dan ook graag mijn erkentelijkheid uitspreken voor dit initiatief, zowel aan de Stichting Bouwresearch, als aan beide auteurs. Ik hoop dat dit boek een waardevolle bron van informatie zal blijken te zijn voor ieder die met dit vak op één of andere wijze te maken heeft.

prof. ir. H. P. S. van Lohuizen
voorzitter begeleidingscommissie

Samenstelling begeleidingscommissie

prof. ir. H. P. S. van Lohuizen, *voorzitter*	Technische Hogeschool, Delft
ing. L. A. W. Ammerlaan	Ingenieursbureau Bongaerts, Kuiper en Huiswaard, 's-Gravenhage
ir. H. G. de Boer	Gemeentewerken, Meppel
ir. H. J. A. Crans	HTS, Tilburg
drs. ing. B. de Graaf	Grondbedrijf Gemeente Rotterdam
ing. F. H. van Hees	Hoogheemraadschap Uitwaterende Sluizen in Kennemerland en W. Friesland
ir. J. L. de Kievit	Advies- en ingenieursbureau Grontmij, De Bilt
ir. J. C. Meischke	Ingenieursbureau Mabeg v. Hasselt, Utrecht
ing. J. Nauta	Dienst Gemeentewerken, Rotterdam
ir. E. van der Ree	Kuiper Compagnons, Rotterdam
ir. E. Schultz	Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders, Lelystad
ing. W. R. Soetens	Gemeentewerken, Zoetermeer
ir. J. L. Willet	Adviesbureau Arnhem

Auteurs

prof. ir. W. A. Segeren	Landinrichtingsdienst Utrecht/TH-Delft
ir. H. Hengeveld	Infraconsult B.V. Deventer/TH-Delft

Prof. ir. W.A. Segeren heeft zijn opleiding genoten aan de Landbouw Hogeschool in Wageningen, waar hij in 1961 afstudeerde in de Tropische Cultuurtechniek.
Van 1961 tot 1968 was hij werkzaam bij de Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders in het onderzoek naar de waterhuishouding van landelijke en stedelijke gebieden.
Van 1968 tot en met 1969 werkte hij aan de landbouwuniversiteit La Molina in Peru aan de waterhuishouding in de tropen.
Van 1969 tot 1978 was hij bij de Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders onder meer belast met de leiding van het onderzoek voor de gehele IJsselmeerpolders en met de start van Almere. In 1978 trad hij in dienst van de Landinrichtingsdienst van het ministerie van Landbouw, waar hij op dit moment plaatsvervangend directeur is. Van 1965 tot 1978 was hij docent aan het International Institute for Hydraulic Engineering in Delft.
Sinds 1974 is hij buitengewoon hoogleraar in de Waterbouwkunde (Polderinrichting) aan de Afdeling Civiele Techniek, Technische Hogeschool Delft, waar hij ondermeer 'Bouwrijp maken van terreinen' doceert.

Ir. H. Hengeveld heeft zijn opleiding genoten aan de Afdeling Civiele Techniek, Technische Hogeschool Delft, waar hij in 1973 afstudeerde in de Civiele Planologie.
Van 1973 tot 1982 was hij als wetenschappelijk hoofdmedewerker werkzaam bij de groep Polderinrichting, Afdeling Civiele Techniek. Hij was ondermeer editor van het internationaal symposium Water in Urban Ecology.
Sinds 1982 is hij verbonden aan het adviesbureau TAUW-Infraconsult, waar hij ondermeer belast is met advisering en onderzoek ten aanzien van grondkosten en civiel technische aspecten van woningbouwprojecten. Nog steeds is hij een deel van zijn tijd werkzaam bij de groep 'Polderinrichting'. Hier is hij belast met onderwijs en onderzoek op het gebied van het 'Bouwrijp maken van terreinen en grondkosten'.

Verantwoording door de schrijvers

Een omvattende en systematische beschrijving van het bouwrijp maken van terreinen voor stadsuitbreidingen bestond tot nu toe niet. In het voor u liggende boek trachten wij deze beschrijving te geven. Wij hebben ons daarbij veel beperkingen op moeten leggen.

Alleen díe maatregelen worden beschreven die in Nederland worden toegepast. Het boek richt zich op het vlakke Nederland, met haar slappe veen- en kleigronden en licht hellende zandgronden, met redelijke infiltratiecapaciteit en lage neerslagintensiteiten.

Eerst de laatste decennia is enig onderzoek op gang gekomen ten aanzien van het bouwrijp maken van terreinen voor stadsuitbreidingen. Daarbij is gebruik gemaakt van kennis en ervaring die in de civiele techniek en de cultuurtechniek aanwezig waren voor het ontginnen van gronden, het aanleggen van wegen en dergelijke. Deze kennis en ervaring zijn in de loop der jaren aangevuld met op het bouwrijp maken gericht onderzoek dat vooral is verricht door de Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders, de afdeling der Civiele Techniek van de Technische Hogeschool in Delft en enkele ingenieursbureaus. Veel van de hier verwerkte kennis en ervaring is dan ook, zij het veelal in projectverband en met andere doeleinden, reeds elders gerapporteerd. Hier wordt deze materie in het meer algemene verband van het bouwrijp maken van terreinen gebruikt en daartoe aangepast en in onderlinge samenhang besproken. Voor de wijze waarop deze informatie is geïnterpreteerd en verwerkt zijn wij zelf verantwoordelijk.

Tegenwoordig worden veel bouwactiviteiten uitgevoerd in stadsvernieuwingsprojecten. Ook hierbij treden veel problemen op die verband houden met de bodemgesteldheid en de waterhuishouding. Systematisch onderzoek naar deze problemen is nog nauwelijks gestart. Daarom was het niet mogelijk het bouwrijp maken van stadsvernieuwingsprojecten op te nemen. Wel is het zo dat veel van de hier gepresenteerde kennis veelal direct toepasbaar is in dergelijke projecten.

In de loop der jaren hebben vele personen en instanties informatie aan ons verstrekt. Ook hebben veel studenten tijdens hun afstuderen aan de Technische Hogeschool in Delft een bijdrage geleverd aan onderzoeksprojecten. Wij zijn hen allen hiervoor erkentelijk.

prof. ir. W. A. Segeren
ir. H. Hengeveld

Samenvatting

Bouwrijp maken van terreinen is de kunde van het afstemmen van de plaats van bestemmingen van stedelijke gebieden op de bodemgesteldheid en de waterhuishouding en de techniek van het geschikt maken van de bodem en de waterhuishouding voor deze stedelijke bestemmingen.

Het voorliggende boek geeft een uitgebreide beschrijving van de theoretische grondslagen voor en de opgedane ervaringen bij het ontwerpen, uitvoeren en beheren van bouwterreinen en bebouwde terreinen. Het boek is ingedeeld in 10 hoofdstukken. In elk hoofdstuk wordt een deel van het bouwrijp maken behandeld. Deze samenvatting volgt de hoofdstukindeling.

1. Bouwrijp maken van terreinen
In de inleiding van hoofdstuk 1 wordt het bouwrijp maken van terreinen gedefinieerd en wordt het vakgebied, zoals dat in dit boek wordt gehanteerd, omschreven en afgebakend. Er wordt een korte beschouwing gegeven over de wijze waarop in de voorgaande eeuwen in Nederland terreinen voor de woningbouw geschikt werden gemaakt. Daarbij valt op dat reeds eeuwen geleden uitgebreide civieltechnische werken werden uitgevoerd om de slappe veen- en kleigronden in het westen van Nederland geschikt te maken voor de woningbouw.
Na de Tweede Wereldoorlog, toen in Nederland uitgebreide activiteiten op het gebied van de woningbouw op gang kwamen, zijn vele nieuwe technieken ontwikkeld in het bouwrijp maken. Deze ontwikkelingen worden in dit hoofdstuk in het kort aangegeven.
In de jaren na de Tweede Wereldoorlog is in de planologie een ontwikkeling op gang gekomen, die veel invloed heeft op de aandacht die aan het bouwrijp maken wordt besteed.
Het hoofdstuk wordt afgesloten met een pleidooi voor een betere inpassing van het bouwrijp maken van terreinen in de stedelijke planvorming.

2. De bodemgesteldheid
In het hoofdstuk over de bodemgesteldheid wordt ingegaan op de wijze waarop gronden en bodems worden geclassificeerd. Vervolgens worden de eigenschappen beschreven die de verschillende grondsoorten en bodemtypen bezitten in relatie tot het bouwrijp maken van terreinen.
Eveneens in het licht van de geschiktheid voor stedelijke doeleinden wordt een korte beschrijving gegeven van de geologische opbouw en de bodemgesteldheid van Nederland. Ten slotte worden van een aantal stadsuitbreidingen, gelegen in gebieden met een karakteristieke bodemgesteldheid, deze bodemgesteldheid en de wijze van bouwrijp maken beschreven.

3. De waterhuishouding
Na een beschrijving van de bijzondere omstandigheden van zowel oppervlaktewater als grondwater en van zowel neerslag als afvoer in een stedelijk gebied, wordt uitgebreid

ingegaan op de hydrologische cyclus in een stedelijk gebied. Een grote rol bij het ontwerp van de waterhuishouding speelt de kans van optreden van hoeveelheden neerslag. Hiervoor wordt in de stedelijke gebieden veel gebruik gemaakt van regenduurlijnen.
Voor het stedelijk groen is vooral de relatie tussen de bodemgesteldheid en de waterhuishouding van belang. Deze relatie wordt in zijn algemeenheid en voor bebouwde gebieden in het bijzonder kort omschreven.
Van belang voor het waterhuishoudkundig ontwerp is eveneens de waterstaatkundige opbouw van Nederland. Deze wordt voor poldergebieden en voor hellende gebieden apart behandeld.
Dit hoofdstuk wordt afgesloten met een korte beschrijving van de relatie tussen de stedelijke waterhuishouding en de bestuurlijke organisatie van het waterbeheer in Nederland.

4. Ophogen
Tijdens de bouw van stedelijke gebieden is de begaanbaarheid van een bouwterrein van groot belang. Tevens moet de draagkracht onder wegen en trottoirs voldoende zijn en moet de grondwaterstand diep genoeg zijn. Bij slappe bodems moet daarom het terrein geheel of gedeeltelijk met zand worden opgehoogd. In dit hoofdstuk zijn de eisen die aan de ophoging gesteld worden beschreven. Een drietal methoden wordt toegepast: integraal ophogen, de cunettenmethode en partieel ophogen.
Deze methoden en de wijze waarop en wanneer ze moeten worden toegepast, worden omschreven. Hierbij wordt aandacht besteed aan de benodigde dikte van de zandlaag en de hoeveelheid grondverzet. Tevens wordt aangegeven hoe rekening gehouden moet worden met optredende zettingen van de slappere ondergrond en hoe deze zettingen kunnen worden berekend.
Voor de ophoging is zand nodig. Aangegeven wordt waar dit zand gewonnen kan worden en waarmee bij de winning rekening moet worden gehouden.
Ten slotte wordt uitgebreid ingegaan op de afweging tussen het integraal ophogen van het bouwterrein of het toepassen van de cunettenmethode.

5. Ontwatering
Voor de beheersing van de grondwaterstand zijn veelal ontwateringsmaatregelen op bouwterreinen nodig. In veel Nederlandse omstandigheden moeten daarvoor drainagesystemen worden toegepast. Dit hoofdstuk gaat in op de verschillende begrippen en functies van ontwateringssystemen. Vervolgens worden de grondwaterstromingen beschreven die met ontwatering gepaard gaan. De verschillende onderdelen van een stedelijk gebied stellen eigen eisen aan de grondwaterstanden. Deze zogenaamde drooglegginsgeisen worden beschreven, uitmondend in ontwateringsnormen voor bouwterreinen en bebouwde terreinen. De laatste jaren zijn verschillende drainagesystemen ontwikkeld voor toepassing in stedelijke gebieden.
Deze systemen, met vóór- en nadelen, worden uitgebreid beschreven.
Verschillende rekenmethoden worden behandeld voor de berekening van de afstanden tussen de drainreeksen.
Ten slotte wordt ingegaan op de draindiepte, de helling van de drains, de diameter van de drainbuizen en de aanleg en het onderhoud van de drainagesystemen in stedelijke gebieden.

6. Afwatering
De neerslag die in een stedelijk gebied valt moet, voorzover zij niet verdampt, worden geborgen en afgevoerd. Voor de bepaling van afvoer en berging is het van belang hoe de afstroming van de neerslag door de verschillende vormen van verharding wordt vervormd en vertraagd. De resultaten van de laatste onderzoekingen en de wijze

waarop die in de praktijk worden geïnterpreteerd staan omschreven.
Het water in de grachten kan op verschillende wijzen worden afgevoerd. De verschillende methoden en de eisen die daarbij worden gesteld, worden behandeld. Het ontwerp van het open water in een stedelijk gebied hangt sterk samen met de keuze van het rioolstelsel. Daarom wordt kort ingegaan op de in Nederland toegepaste rioleringssystemen.
Uitgebreid worden de berekeningsmethoden voor de dimensionering van waterlopen en kunstwerken in stedelijke gebieden behandeld. Daarbij wordt tevens ingegaan op de rol die de kwaliteit van het oppervlaktewater in de stad speelt en hoe in het ontwerp van het watersysteem hiermee rekening kan worden gehouden. Ten slotte wordt op de vormgeving van het open water in stedelijke gebieden kort ingegaan, waarbij tevens aandacht wordt besteed aan verkleining van het verdrinkingsgevaar voor kinderen.

7. Het groeimilieu
Stedelijke gebieden beïnvloeden de abiotische milieufactoren en daardoor eveneens de biotische milieufactoren: de planten- en dierenwereld.
Het belangrijkste onderdeel is het stedelijk groen. De functies van het stedelijk groen worden kort beschreven. De laatste jaren is er een tendens om in stedelijk groen variatie aan te brengen door middel van natuurlijke ontwikkelingen op aanwezige dan wel aangebrachte variaties in het abiotische milieu. In het geval van bouwrijp maken van terreinen zijn deze abiotische factoren de bodem en het water. Beschreven wordt hoe deze factoren behandeld kunnen worden om gewenste natuurlijke processen op gang te brengen en blijvend te doen zijn. Om de gewenste maatregelen te kunnen begrijpen en ontwerpen, is een goed inzicht nodig in de onderlinge relaties tussen grondwaterstand, bodemvocht, bodemstructuur, bodemlucht en in de relaties tussen deze factoren en de plantengroei. Hierop wordt in dit hoofdstuk uitgebreid ingegaan.

8. Kabels en leidingen
Tijdens het woonrijp maken worden uitgebreide netten van kabels en leidingen aangelegd. Elk net stelt aparte eisen aan diepteligging, fundering en afstand tot andere leidingen. Voor elk net worden deze eisen beschreven.
Ten slotte wordt ingegaan op de nieuwste ontwikkelingen met leidingenstraten, leidingenbuizen en leidingentunnels.

9. Grondkosten en grondprijzen
Bij het maken van een stedelijk gebied is het van belang te weten wat het bouwterrein kost en wie deze kosten moeten betalen. De kosten bestaan uit de verwervingskosten, de kosten voor het bouwrijp maken van het terrein, de kosten voor het woonrijp maken, de kosten voor planontwikkeling, voorbereiding en toezicht bij de uitvoering, omslagkosten en rentekosten. Deze kostencomponenten worden in dit hoofdstuk beschreven.
De verdeling van de kosten van het bouwterrein over de verschillende onderdelen wordt eveneens uitvoerig beschreven.
De laatste jaren zijn er een aantal methoden ontwikkeld om voorhanden zijnde gegevens zodanig te bewerken dat voor de locatiekeuze voor stadsuitbreidingen en voor de stedelijke bestemmingen een plan met minimale kosten ontstaat. Deze methoden worden bodemgeschiktheidsbeoordelingen genoemd. Ze worden in dit hoofdstuk toegelicht.
Ten slotte worden de beheerskosten van een stedelijk gebied besproken.

10. Methoden van bouwrijp maken, onderzoek en ontwerp
In de eerste 9 hoofdstukken zijn afzonderlijke maatregelen omschreven, die bij het bouwrijp maken van terreinen worden uitgevoerd. De maatregelen beïnvloeden elkaar

sterk, zodat voor een bepaalde situatie een complex van maatregelen het beste is. Dit complex wordt 'methode van bouwrijp maken' genoemd.
Voor verschillende bodemkundige en waterhuishoudkundige uitgangssituaties worden in dit hoofdstuk de methoden voor bouwrijp maken beschreven. In de verschillende stadia van de voorbereiding van een stedelijke ontwikkeling zijn gegevens over de bodemgesteldheid en de waterhuishouding nodig in verschillende mate van gedetailleerdheid. In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de afstemming van het onderzoek naar de bodemgesteldheid en de waterhuishouding en deze stadia van planvorming.

Summary

Preparation of building sites

Building site preparation is the science of matching the location of projected urban features to the soil and water conditions and the technique of making those conditions suitable for urban projects.
This book describes fully the theoretical basis for, and the experience gained in, the design, execution and management of building sites. The book contains ten chapters dealing with the various aspects of building site preparation. The chapter sequence of the book is followed in this summary.

1. Building site preparation
In the introduction to Chapter 1 the preparation of building sites is defined and the scope of the subject, as conceived in this book, described. The way in which sites used to be made suitable for housing construction in the Netherlands in earlier centuries is outlined. It is notable in this context that even hundreds of years ago extensive civil engineering works were carried out in order to enable houses to be built safely on peat and clay soils in the western part of the country.
After World War II, when wide ranging activities in housing construction got under way in the Netherlands, many new techniques were developed in connection with building site preparation. These developments are briefly described in this chapter.
In the post-war years developments in town and country planning were initiated which still have considerable influence on the thought given to building site development. The chapter ends with a call for more attention to site preparation in urban planning.

2. Soil conditions
This chapter on soil conditions deals with soil and soil profile classification. The properties of various soils and soil profiles, in relation to building site preparations are also described. A short description is given of the geological structure and soil conditions in the Netherlands with reference to suitability for urban development. Finally the soil conditions and the methods of building-site preparation are described for a number of urban development schemes in regions with characteristic soil conditions.

3. Hydrological conditions
A description is given of particular features of both surface water and ground water and also of rainfall and discharge in an urban area. The hydrological cycle in an urban area is then dealt with in detail. The rainfall frequency and intensity play a major part in the hydrological aspects of the design and rainfall duration curves are often used for this purpose.
The relationship between the soil conditions and the hydrology is important particular-

ly for urban green areas. The general features of this relationship are briefly described and particular attention is given to the hydrological design aspects of built-up areas. The structure of water control and management in the Netherlands is very relevant to the hydrological design aspects of building sites. This is described separately for flat polder regions and for other, sloping, regions.
This chapter ends with a short description of the relationship between urban hydrology and the administrative organization of water management in the Netherlands.

4. Land fill

It is of major importance that roads on a building site are passable during the construction of urban areas and the bearing capacity of the soil under roads and footways must be adequate and the ground water level sufficiently deep below the surface. On soft ground the site will therefore have to be partly or entirely raised by sand fill. The requirements applicable to land fill are dealt with in this chapter. Three methods are employed: integral raising of the level, excavation and sand fill under roads and footways, and, lastly, partial raising of the level.
These methods and the conditions under which they can be applied are described, with particular attention to the thickness of the sand layer required and the quantities of earth involved. How the settlement of the softer subsoil should be taken into account and how the amounts of settlement can be calculated is also explained.
Sand is required as the fill material; sources and considerations related to its winning are indicated.
Finally, the factors to be considered in deciding between integral raising of ground levels on building sites and the excavation/displacement method are dealt with in some detail.

5. Soil drainage

Often soil drainage measures are necessary to control the ground water level on building sites. Appropriate soil drainage systems often have to be employed under conditions encountered in the Netherlands. The various concepts and functions of such systems are dealt with in this chapter. The ground water flow phenomena associated with drainage are then described. The different parts of an urban area impose their own respective requirements upon ground water levels. These so-called soil drainage requirements are described, leading up to a discussion of soil drainage standards for building sites and built up areas. In recent years various soil drainage systems have been developed for application in urban areas. These systems are described in some detail, and their advantages and disadvantages indicated. Several methods of calculating the sparings between the respective series of drains are dealt with.
Finally, the depth at which soil drains should be installed, their slope, the diameter of the drain pipes and the construction and maintenance of soil drainage systems in urban areas are discussed.

6. Urban drainage

The precipitation that falls in urban areas must, in so far as it does not evaporate, be stored and discharged. To determine the required storage and discharge capacities it is important to know how the precipitation run-off is affected and retarded by the various forms of pavement. The result of the latest investigations and how these results are interpreted in practice are discussed.
The water in the canals can be discharged in various ways. The various methods employed and the requirements to be fulfilled, are dealt with. The design of open

watercourses in an urban area is closely associated with the choice of the sewerage system, and in this connection the sewerage systems applied in the Netherlands are briefly considered.
The design calculation methods for dimensioning watercourses and civil engineering structures for water control in urban areas are fully explained. The part played by the quality of the surface water in towns and cities is also examined, and it is shown how this can be taken into account in the design of the water system. Finally, the design features of open watercourses in urban areas are outlined, with due attention to precautions necessary for reducing the risk of children drowning.

7. The 'Green' environment
Urban areas affect the abiotic environment and thus the biotic environmental factors: the plant and animal world. The most important sector of this environment is urban green areas, the functions of which are briefly described. In recent years there has been a trend involving the introduction of variety into the vegetation by means of natural developments based on existing or applied variations in the abiotic environment. In the case of building site development these abiotic factors are the soil and the water. How these factors can be handled in order to initiate desired natural processes and to sustain them permanently is described. In order to have a proper understanding of the desired measures and to design them, it is necessary to obtain a good insight into the interrelationship between ground water level, soil moisture, soil structure, the air content of the soil, and the relationship between these factors and plant growth. These matters are fully dealt with in this chapter.

8. Services
Extensive utility services – networks of cables and pipes – are installed in connection with urban development. Each network has its own requirements as to depth below ground level, foundation or supporting system and distance to other service networks. The latest developments in the accommodation of services in alleyways, ducts and tunnels are examined.

9. The cost of urban development
In developing an urban area it is important to know what the building site costs are and who will pay the costs involved. These comprise the cost of acquisition, the cost of developing the site for building, the cost of developing it for urban use, the cost of planning, preparation and supervision of execution, taxes and interest charges. These cost components are described in this chapter.
The distribution of the costs of the building site over the various items is also described in detail.
In recent years a number of methods have been developed for processing available data in such a way that a plan involving minimum costs is obtained for the choice of location for urban extensions and related features. These methods, called site suitability assessments, are explained in this chapter.
Finally, the management expenses of an urban area are discussed.

10. Methods of building site development, investigation and design
The first nine chapters describe factors involved in building site preparation. These factors strongly influence each other so that for any particular situation a combination of factors will offer the best solution. This combination is called the 'method of building

site preparation'. Appropriate methods of building site preparation suited to various initial soil and hydrological conditions are described in this chapter.
In the various stages of preparation of an urban development scheme it is necessary to have data on the nature of the soil and the hydrology in varying degrees of detail. The coordination of the soil and hydrology investigations in these various planning stages is examined in this chapter.

1 Bouwrijp maken van terreinen

1.1 Inleiding

Bouwrijp maken van terreinen is de kunde van het afstemmen van de plaats van bestemmingen van stedelijke gebieden op de bodemgesteldheid en de waterhuishouding en de techniek van het geschikt maken van de bodem en de waterhuishouding voor deze stedelijke bestemmingen.

Zoals uit deze definitie blijkt worden bij het bouwrijp maken van terreinen twee aspecten onderscheiden:

1. Voor bepaalde stedelijke bestemmingen wordt een locatie gezocht, mede op basis van bodemgesteldheid en waterhuishouding. Hierbij gaat het in eerste instantie om de plaatsbepaling van een stads- of dorpsuitbreiding of nieuwe stad. Ligt de locatie vast, dan hebben de bodemgesteldheid en waterhuishouding invloed op de indeling van het plan.
2. Een gebied moet volgens een stedebouwkundig plan worden ingericht. De bodem en de waterhuishouding moeten in dit geval worden aangepast aan de eisen die de bestemmingen stellen.

Beide aspecten komen in dit boek aan de orde. Hoewel de meeste aandacht wordt besteed aan de technische aspecten van het bouwrijp maken, zal eveneens aandacht worden besteed aan locatie- en inrichtingsaspecten.
Terreinen worden in het algemeen bouwrijp gemaakt in omstandigheden waarin diverse disciplines samenwerken om een geïntegreerd resultaat te verkrijgen. Daarom is aandacht voor de relatie met andere disciplines essentieel.

Het begrip bouwrijp maken, zoals dat in dit boek wordt uitgewerkt, omvat de werken die moeten worden uitgevoerd voor het ontwikkelen van gebieden en die afhankelijk zijn van de bodemgesteldheid en de waterhuishouding. Dit begrip wijkt af van de soms gehanteerde opvatting over bouwrijp maken bij gemeenten. Veel gemeenten maken onderscheid tussen bouwrijp maken en woonrijp maken. Dit onderscheid geeft twee fasen aan in het werkproces. Onder het bouwrijp maken worden in dat geval de werkzaamheden verstaan, die vooraf gaan aan de eigenlijke bouw van de woningen. Het woonrijp maken omvat de werkzaamheden die tijdens en na het gereedkomen van de woningen worden verricht.

In de loop van de afgelopen 20 jaar zijn er belangrijke ontwikkelingen geweest in het vakgebied van het bouwrijp maken. Veel van de kennis is in projecten ontwikkeld en door overheden en adviesbureau's slechts in interne nota's en archiefstukken vastgelegd. Over het algemeen werken de onderzoeksinstituten nauwelijks op het gebied van het bouwrijp maken. Op onderdelen van de civiele techniek die bij het bouwrijp maken aan de orde zijn, is wel uitvoerig onderzoek verricht. Zo is het grondmechanisch- en funderingsonderzoek ten behoeve van woningprojecten en de rioleringstechniek sterk ontwikkeld. Andere onderdelen zijn echter minder onderzocht. Wat tot nu toe weinig aandacht heeft gehad is de integratie van de onderdelen van het bouwrijp maken tot –

voor een bepaalde situatie – één methode van bouwrijp maken. Integratie wil zeggen dat een technisch en economisch optimale samenhang wordt nagestreefd.
Gedurende de laatste 15 jaar is door de gemeenten jaarlijks zo'n 1,7 à 1,9 miljard gulden geïnvesteerd in het bouwrijp maken van terreinen (prijspeil 1982). Tevens is in deze periode de stijging van de grondkosten aanzienlijk groter geweest dan de stijging van de totale stichtingskosten van woningen. Nu door de economische teruggang in het begin van de jaren 1980 de kosten van de woningbouw beperkt moeten worden, is het van belang het bouwrijp maken zo goedkoop mogelijk te verrichten.
Dit kan vooral worden bereikt als het bouwrijp maken vanaf het begin onderdeel is van de planning en het ontwerp.
Hoewel de prognoses verschillen kan er toch wel van worden uitgegaan, dat in de komende 20 jaar nog 1.000.000 woningen gebouwd moeten worden. Dit betekent dat nog tenminste 25.000 hectare moet worden gebruikt voor woningbouw. Gezien de bodemgesteldheid en de waterhuishouding van de gebieden die hiervoor in aanmerking komen, zullen ingrijpende maatregelen nodig zijn om het veelal agrarische terrein om te zetten tot bouwterrein.

De ontwikkelingen op het gebied van bouwrijp maken en het beperkte aantal publikaties, de belangrijker geworden rol van bodemgesteldheid en waterhuishouding in het ruimtelijk ontwerp en de grotere druk op de kosten, zijn de reden voor deze publikatie. De inhoud ervan is gebaseerd op ontwikkelingen gedurende de laatste 20 jaar in de grootschalige stadsuitbreidingen. Zij is dus bruikbaar voor de stadsuitbreidingen in de komende jaren. Ook voor andere ontwikkelingen, zoals stadsvernieuwing, nieuwbouw binnen het bestaande stedelijk gebied op minder grote schaal, of beheer van de bestaande stedelijke ruimte, is de inhoud van dit boek van belang; hoewel zij er niet direct aan is ontleend of op is gericht. De omstandigheden in elke stads- en dorpsuitbreiding en elk stads- en dorpsvernieuwingsproject zijn echter plaatsgebonden. Daardoor is het niet mogelijk een recept voor het bouwrijp maken van terreinen te geven dat in een bepaalde situatie altijd kan worden toegepast. Integendeel, op basis van de in dit boek gepresenteerde kennis zal voor elk project een eigen methode voor het bouwrijp maken ontworpen moeten worden.

Bouwrijp maken en woonrijp maken
Het bouwrijp maken van terreinen omvat de volgende onderdelen:
- Opruimen van het terrein.
  Allerlei zaken zoals opstallen, afrasteringen en begroeiing moeten worden opgeruimd en afgevoerd. Eventueel moeten aanwezige kabels en leidingen worden omgelegd.
- Grondwerken.
  Dit onderdeel omvat het ophogen of afgraven van het terrein. De grasmat en de zwarte bovengrond kunnen worden verwijderd. Deze grond wordt in depot gezet en later in tuinen en plantsoenen aangebracht. Sloten moeten worden uitgebaggerd of gedempt. Er kan een laag zand over het gehele terrein worden aangebracht of alleen op de plaats van de toekomstige wegen kunnen cunetten gegraven worden, die worden gevuld met zand. Maatregelen om de zetting te versnellen kunnen worden getroffen. Nieuwe watergangen kunnen worden gegraven. In grotere groengebieden kunnen bodemverbeteringswerken worden uitgevoerd.
- Drainage.
  Een of andere vorm van ontwatering moet in veel gevallen voor de bouw worden aangebracht om een goed begaanbaar en droog bouwterrein te verkrijgen. Na de bouw is het vaak noodzakelijk een definitief ontwateringssysteem aan te leggen.
- Riolering.
  Om het huishoudelijk afvalwater en het regenwater dat op daken en wegen valt af te

voeren, moet een rioleringsstelsel worden aangelegd. Dit kan een gemengd- of een gescheiden stelsel zijn. Afhankelijk van de bodemgesteldheid moet het stelsel worden gefundeerd.

- Kunstwerken.
  Als onderdeel van de waterhuishouding, de wegen en het rioleringssysteem moeten allerlei kunstwerken worden aangelegd: stuwen, duikers, bruggen, tunnels, gemalen, enz. Een deel van de kunstwerken is vanaf het allereerste begin nodig; een deel kan tijdens de bouw worden aangelegd.
- Verhardingen.
  De ontsluitingswegen, buurtwegen, woonstraten, parkeerplaatsen en fiets- en voetpaden moeten van een verhardingsconstructie worden voorzien. Vóór de bouwfase worden de bouwstraten aangelegd. Bij het aanleggen van de definitieve verharding zal nog enig grondwerk moeten worden uitgevoerd.
- Groen en recreatieve voorzieningen.
  Op de plaats van tuinen en kleinere groenvoorzieningen moeten tegen het einde van de bouwfase grondbewerkingen en grondverbeteringen plaatsvinden. Daarna worden in het openbare groengebied bomen en struiken geplant, gras gezaaid en voorzieningen aangelegd.
- Aanleg van kabels en leidingen.
  In het begin van de bouw moet het terrein worden voorzien van 'bouwwater' en 'bouwstroom'. Daarom wordt in het algemeen een deel van het hoofdsysteem van de drinkwatervoorziening vroegtijdig aangelegd. Aan het eind van de bouwfase worden de woningen aangesloten op de diverse nutsvoorzieningen.
- Straatmeubilair.
  In de laatste fase van het ontwikkelen van het woongebied wordt het straatmeubilair aangebracht.

Onder bouwrijp maken in engere zin wordt in het algemeen verstaan het opruimen van het terrein, de grotere grondwerken, de aanleg van drainage, rioleringssysteem, open water, kunstwerken en bouwstraten.
Het aanbrengen van de definitieve verharding, het schoonmaken van het bouwterrein, de aanleg van groen en recreatieve voorzieningen en kabels en leidingen, het plaatsen van straatverlichting en dergelijke wordt vaak woonrijp maken genoemd.

In het kader van dit boek wordt, zoals gezegd, met name ingegaan op de ingrepen in de bodem en de waterhuishouding, die nodig zijn als een gebied van een – vrijwel altijd – agrarische bestemming wordt omgezet in een woongebied, winkelcentrum of industrieterrein. De belangrijkste maatregelen in dit verband zijn het met zand ophogen, het ontwateren en het afwateren van het terrein en het uitvoeren van grondverbeteringen ten behoeve van het groen. De wijze waarop deze vier maatregelen genomen worden hangen af van de oorspronkelijke bodemgesteldheid en de waterhuishouding. Daarom wordt hieraan veel aandacht besteed. Deze maatregelen worden beïnvloed door het stedebouwkundig ontwerp en het type rioleringssysteem. Daaraan wordt eveneens aandacht besteed.

1.2 Vroegere ontwikkeling van het bouwrijp maken in Nederland

De ontwikkeling van het bouwrijp maken in Nederland, zoals die zich in de loop van de eeuwen heeft voorgedaan, is nog niet systematisch onderzocht. Sommige gegevens zijn te vinden in oude stadsbeschrijvingen en historisch-geografische publikaties. Voor de nederzettingen in West- en Noord-Nederland komt daaruit naar voren dat de eerste aanzet van nederzettingen steeds is gelegen op een terrein met een gunstige bodemgesteldheid en waterhuishouding. Reeds vanaf de Middeleeuwen echter zijn uitgebreide

technische werken uitgevoerd om uitbreiding van deze aanzet mogelijk te maken, zoals het ophogen van terreinen en het treffen van maatregelen voor de waterbeheersing.
In de historisch-geografische literatuur wordt beschreven dat de economisch-strategische ligging een zeer belangrijke factor is bij de keuze van vestigingsplaats en de ontwikkeling van de nederzettingen. Veelal zijn het de belangrijke verkeersroutes die bepalend zijn voor de locatie en ontwikkeling. Pré-stedelijke kernen (burcht, hof, markt) vormen vaak een startpunt voor de uitgroei tot een nederzetting. Deze pré-stedelijke kernen zijn op de economisch-strategische plaatsen ontstaan [1-1, 1-2, 1-3]. Zo ligt Groningen aan het eind van de landweg over de Hondsrug en bij het begin van goede waterverbindingen. Vanaf de mond van de IJssel is Deventer de eerste plaats waar de zandgronden aan de oostzijde aan de IJssel raken. Ook Coevorden is gelegen op een zandrug, de verbinding tussen de noordelijke provincies en het Duitse achterland, omgeven door ontoegankelijke veengebieden. Aan de andere zijde van het Drentse Plateau bevindt zich Steenwijk op een zandrug die een belangrijke verbinding vormt. Naarden vormt het eindpunt van de weg over de Utrechtse Heuvelrug. Over de binnenduinen liep de Rijnweg of Heerweg, de landroute die oorspronkelijk de hartader van Holland vormde. Vele nederzettingen zoals Den Haag, Voorburg, Haarlem en Alkmaar zijn daar tot ontwikkeling gekomen [1-4].

Zoals gezegd vormen de fysische-geografische omstandigheden een belangrijke factor bij de eerste aanzet van een vestigingsplaats. Veelal op raakpunten of kruispunten van landwegen (zandruggen) en vaarwegen, bij gemakkelijk te overbruggen rivieren, vindt stedelijke ontwikkeling plaats. De genoemde voorbeelden, die met vele zijn aan te vullen, duiden er al op.
Een zandondergrond was niet alleen van belang voor de draagkracht en verkeersvoorziening, maar ook voor een goede drinkwatervoorziening.
Vindt de eerste aanzet van een nederzetting plaats op een fysisch en economisch-strategisch geschikte plaats, al snel blijkt bij een verdere uitbreiding dat het in West- en Noord-Nederland nodig is omvangrijke aanpassingswerken uit te voeren om een terrein bouwrijp te maken. Dit is nodig omdat de gunstige plek al snel te klein is. De geschikte ondergrond is veelal langgerekt zoals zandruggen, oeverwallen en dijken. Een langgerekte ontwikkeling is echter onvoordelig, bijvoorbeeld voor de verdediging. Bovendien bleek het in verband met de scheepvaart nodig naar het water toe te groeien. Dit betekende een uitbreiding op slechte, laag gelegen gronden of zelfs in ondiep water. Groningen, Alkmaar, Rotterdam, Dordrecht en Amsterdam zijn hier voorbeelden van (fig. 1.1, 1.2 en 1.3).

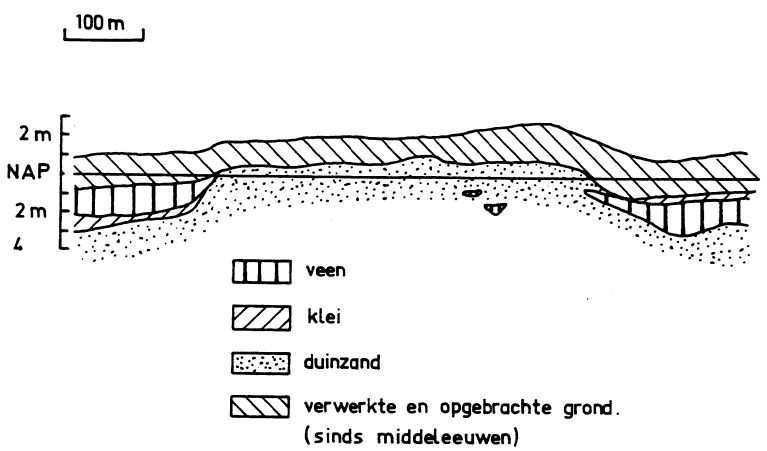


Fig. 1.1 Doorsnede over het oude deel van Haarlem

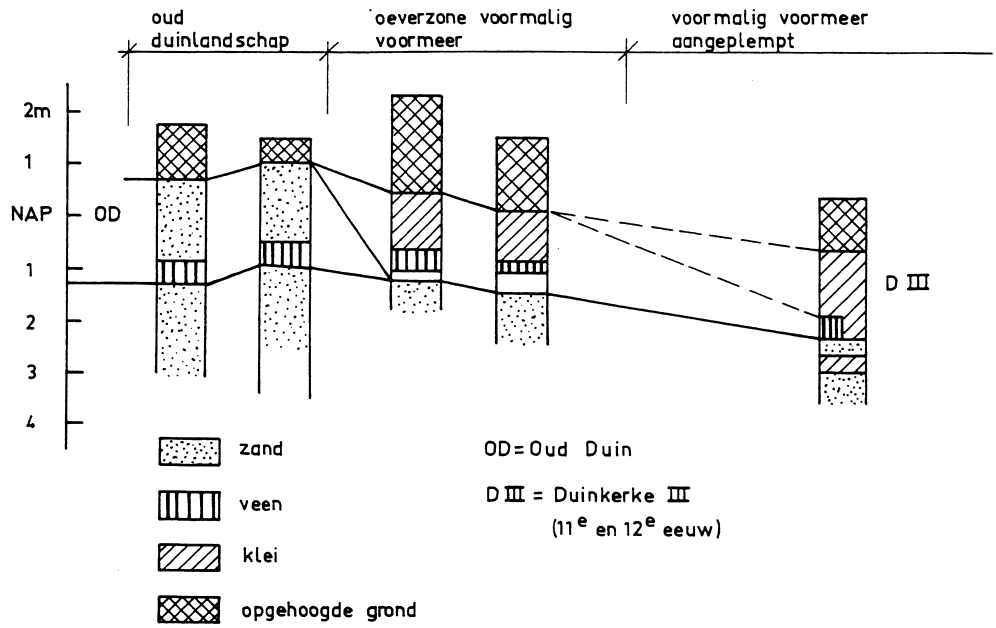


Fig. 1.2. Doorsnede over het oude deel van Alkmaar

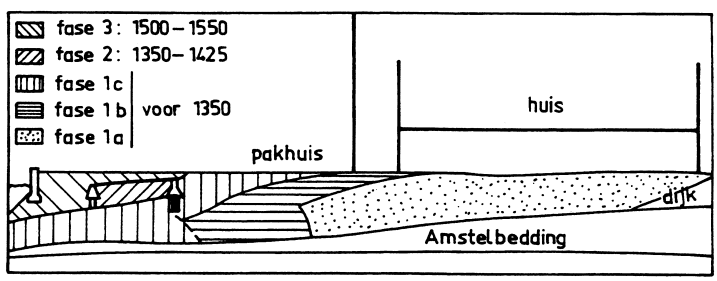


Fig. 1.3. Doorsnede over een deel van Amsterdam [1-5]

De stedelijke ontwikkeling in West- en Noord-Nederland is vooral op gang gekomen in de 13e eeuw toen de doorgaande buitenwaterkeringen tot stand waren gekomen. Vele dam- en dijksteden groeiden vanuit een kleine vissersnederzetting op een dijk, vooral bij een gunstige verkeerskundige ligging. Uit de literatuur wordt duidelijk dat vanaf de eerste ontwikkelingen terreinen werden opgehoogd voor stedelijke bebouwing. Zo vermeldt Sarfatij [1-6] dat de rivierbodem acht meter diep was waarop de middeleeuwse Dortenaren door middel van ophoging een nieuw stadsgedeelte bouwden. Dit deel was zeker geen opwas in de rivier waarop de oude stad gesticht was, maar een kunstmatige aanplemping, in een proces van enige eeuwen tot stand gekomen (fig. 1.1). Ook Petri [1-7] meldt voor Hoorn, Alkmaar en Enkhuizen aanzienlijke aanplempingen en ophogingen. Gordfunke [1-8] beschrijft de groei van Alkmaar vanaf de duinrug in de richting van het Voormeer, waarbij de terreinen werden opgehoogd (fig. 1.2).
Visser [1-9] geeft aan dat in een deel van Schoonhoven de ophoging ongeveer 2 meter bedraagt. Het is waarschijnlijk dat deze ophoging in een korte tijd in het midden van de 13e eeuw is uitgevoerd. Voor het overige oude stadsgebied zijn geen aanwijzingen verkregen of daar van een geleidelijke dan wel van een met tussenpozen aangebrachte ophoging van de bodem sprake is.
Raue beschrijft in de stedebouwkundige geschiedenis van Delft zowel ophogingen op een bepaald moment alswel geleidelijke ophogingen. Zo is de Markt in 1484 ca. 90 cm opgehoogd. Na de stadsbrand van 1536 kregen de omliggende dorpen bevel om alle

puin van de straten binnen Delft af te voeren naar de nog niet bebouwde, laagst gelegen delen van de huidige binnenstad, waar het puinpakket soms twee meter dik is. De ophoging in de Delftse binnenstad varieert tussen 90 en 110 cm.
Van Ravensteijn [1-10] beschrijft dat in de 17e eeuw regelmatig uitbreidingen van Rotterdam aan de waterzijde plaatsvonden, waarbij het oppervlak van de stad verdubbelde; dit zal ook gepaard zijn gegaan met ophogingen. In Haarlem, hoewel gelegen op de strandwal, is het stedelijk gebied aanzienlijk opgehoogd. Bij Kampen is niets te bespeuren van een zandige oeverwal waarop men in het verleden Kampen zo graag heeft willen zien ontstaan [1-11].

Vaak wordt betoogd dat pas zeer recent ten behoeve van stedelijke uitbreidingen ingrijpende technische maatregelen nodig zijn geworden. Vanaf het begin van de menselijke bewoning van Nederland zou deze in haar mogelijkheden sterk afhankelijk zijn geweest van de bodemgesteldheid en vooral ook van de waterhuishouding. Pas meer recente technische ontwikkelingen zouden het mogelijk hebben gemaakt nieuwe nederzettingspatronen te ontwikkelen, waarbij de ligging minder bepaald wordt door bodemgesteldheid en waterhuishouding [1-12]. Uit het voorgaande is duidelijk geworden dat dit voor noord- en west-Nederland niet het geval is geweest.
Van de stadsuitbreidingen in de periode 1850–1940 zijn weinig gegevens over het bouwrijp maken bekend. Dit lijkt een algemeen probleem met de geschiedschrijving van de stedelijke ontwikkeling. De genoemde periode lijkt niet zo gewild. Hopelijk komen in rapporten van stadsvernieuwingsprojecten gegevens naar voren.

Een uitzondering wat betreft de beschrijving van de periode 1850–1940 vormen Rotterdam en Amsterdam. Voor Rotterdam heeft Van Ravensteijn [1-10] uitgebreid de stedelijke ontwikkeling en de daarbij benodigde civieltechnische werken beschreven. Zeer interessant is bijvoorbeeld de hele afwateringsproblematiek in de Coolpolder, een plan dat in de jaren 1860–1880 is uitgevoerd.
De uitbreidingen in Rotterdam-Zuid werden veelal aanzienlijk opgehoogd. Enorme grondmassa's kwamen daarvoor vrij vanuit de aan te leggen havens, bijvoorbeeld de Rijnhaven (1887) en de Maashaven (1895). Opmerkelijk in dit verband is de eerste Rotterdamse bouwverordening, die in 1857 tot stand kwam. Een amendement vanuit de raad om een eis tot grondverbetering in te voeren werd met overweldigende meerderheid afgewezen. Reeds in 1919 werden uitvoerig problemen in verband met de grondwaterstand beschreven [1-13].

Al in de Middeleeuwen was het de gewoonte het maaiveld van de bouwplaatsen in Amsterdam te verhogen (fig. 1.3) [1-14]. Tot ca. 1940 was het regel dit te doen tot 0,70 m + N.A.P., oorspronkelijk ter voorkoming van overstromingen. Het peil in het open water in het Amsterdamse stedelijke gebied vóór 1940 is 0,40 m ÷ N.A.P.
In de Middeleeuwen werd voor deze ophogingen de grond uit de grachten gebruikt. Later, speciaal tijdens de grote stadsuitleg in de 17e eeuw, werd ook gebruik gemaakt van zand uit de duinen en het Gooi (fig. 1.4). Zo beschrijft Kloosterhuis de lage zandgronden in het Gooi, die voor het grootste deel kunstmatig zijn ontstaan. Hij schat de hoeveelheid afgegraven zand in het Gooi op 16,5 miljoen kubieke meter, zijnde 1100 hectare met een daling van het maaiveld van 1,50 m [1-15].
De uitbreidingen van Amsterdam in de periode 1870–1940 zijn tot boven N.A.P. opgehoogd. Zo is de Dapperbuurt in de periode 1875–1894 ongeveer 4 meter opgehoogd [1-16]. De gemeente verstrekte bouwvergunningen aan bouwexploitanten, deze hoogden de gronden op die ze wilden bebouwen. In de 19e eeuwse woonwijken volgden de straten de richting van de vroegere poldersloten. Dat vergemakkelijkte de uitvoering van vele partiële bouwplannen [1-17]. Eén van de vele bezwaren tegen deze ontwikkeling was het feit dat tussen de gedeeltelijke ophogingen stilstaand water bleef staan.

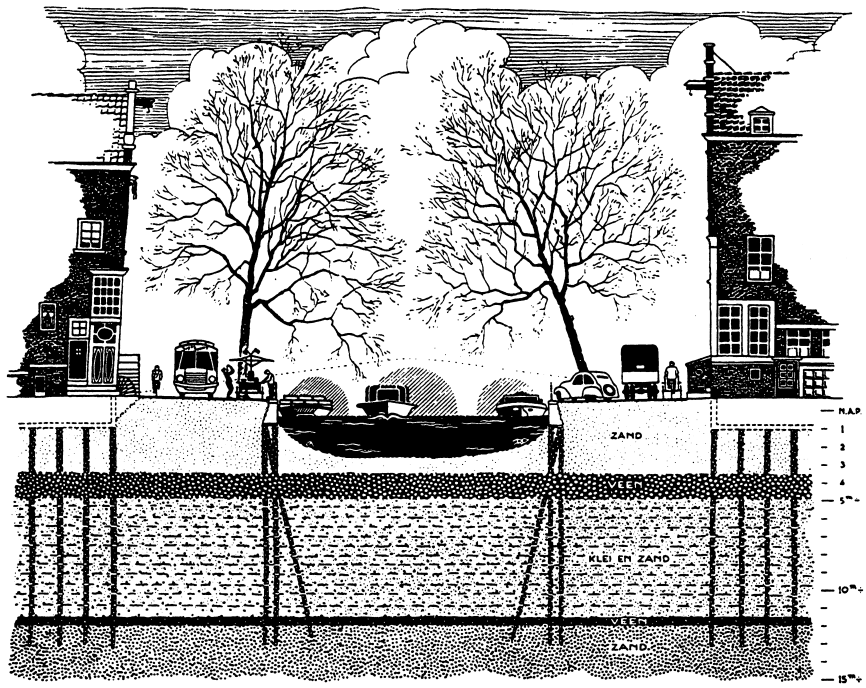


Fig. 1.4. De bodem van Amsterdam in de grachtengordel

Deze poelen vormden een bedreiging voor de gezondheid van de omwonenden. Onder andere om die reden werd het de gemeente toegestaan een oppervlakte weiland van 25 ha in haar geheel te onteigenen en bouwrijp te maken. De bouwterreinen werden later weer verkocht. De ophoging van de bouwterreinen tot een peil van 0,20 m + N.A.P. werd dwingend voorgeschreven.
In 1917 werd het bekende Uitbreidingsplan Zuid van Berlage door de gemeenteraad vastgesteld. Ook dit gebied is tot ca 0,70 m + N.A.P. opgehoogd, waarbij het zogenaamde stadspeil 0,40 m ÷ N.A.P. is gelegen. Dit was ondertussen dwingend voorgeschreven in de eerste bouwverordening van 1902. Het zand werd o.a. per trein uit de duinen aangevoerd.
In 1927 werd in Amsterdam een commissie ingesteld 'ter bestudering van het vraagstuk van het bouwen al dan niet op opgehoogden grond'. De commissie bracht in 1931 verslag uit [1-17]. De commissie geeft een uitgebreide inventarisatie van de bestaande toestand van de bouwterreinen. Het grootste deel van de stad is 'op boezempeil gebouwd', dus boven het stadspeil van 0,40 m ÷ N.A.P. In gebieden die bebouwd zijn toen ze buiten het gebied van de gemeente Amsterdam lagen, treft men echter talrijke plaatsen aan waar wegen en erven 1 meter of meer beneden het normale peil van 0,70 m + N.A.P. liggen. Ook verschillende stadsparken als het Vondelpark, Sarphatipark en het Oosterpark zijn op polderpeil aangelegd, om de kosten van ophoging te ontgaan. In de Watergraafsmeer bestaat dan al een echte 'polderstad', dus bebouwing in een niet tot boven N.A.P. opgehoogde polder. De Watergraafsmeer heeft een polderpeil van 5,50 m ÷ N.A.P. Aanleiding tot het instellen van de commissie waren de hoge kosten voor de ophoging die met het bouwen op boezempeil gepaard gingen. Na een uitvoerige studie werd geconcludeerd dat bouwen 'op polderpeil' verantwoord was.

In 1935 werd door de gemeenteraad het Algemeen Uitbreidings Plan (A.U.P.) vastgesteld. Toen na de Tweede Wereldoorlog de stadsuitbreidingen volgens het A.U.P. op grote schaal werden aangevat, werd inderdaad op polderpeil gebouwd. Het bouwterrein werd 1 à 1,5 meter boven het waterpeil aangelegd, hetgeen in de westelijke uitbreidingen bij een polderpeil van 2,10 m ÷ N.A.P. neer kwam op een bouwterrein-

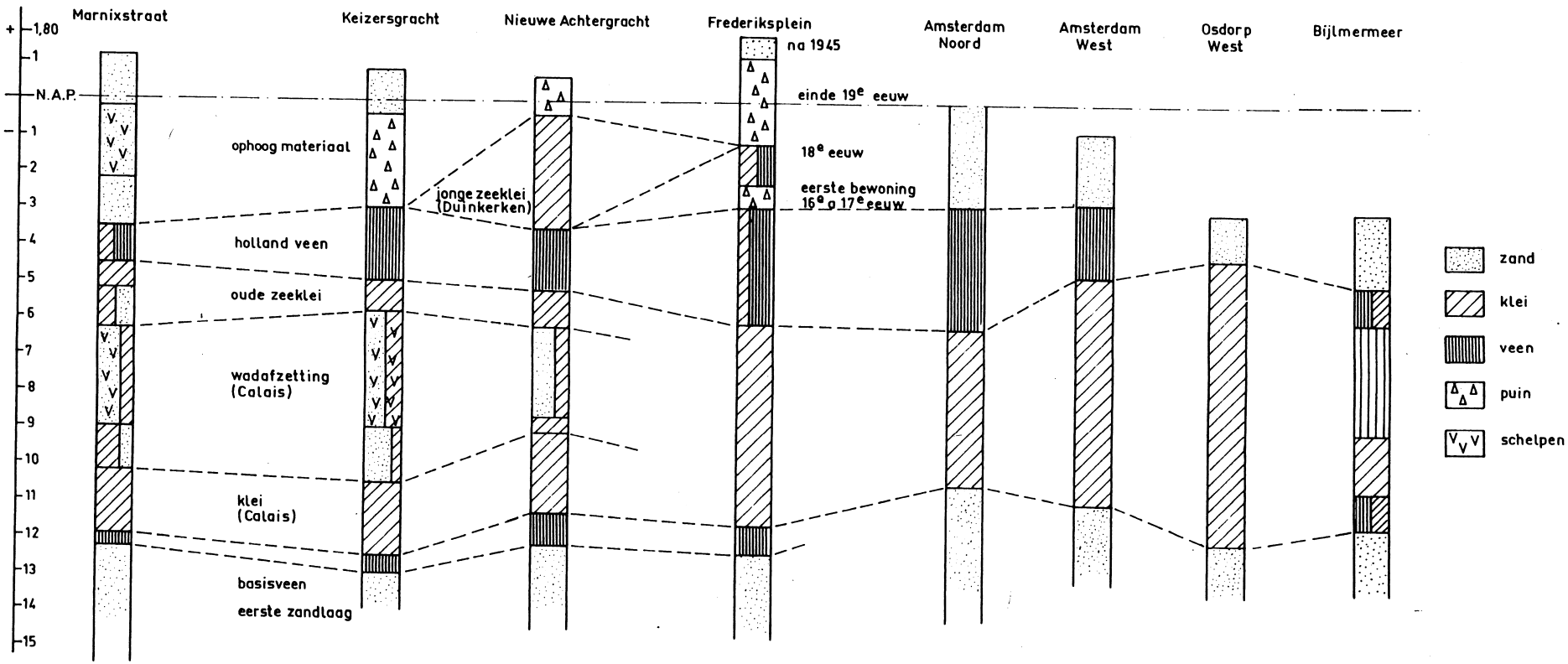


Fig. 1.5. Ophogingen in Amsterdam

hoogte van 0,80 m ÷ N.A.P. Dit is 1,5 meter lager dan in de rest van Amsterdam. Voor Amsterdam-West betekende dit een besparing van 30 miljoen m^3 zand (fig. 1.5).
Amsterdam-Noord is in de zestiger jaren opgehoogd met 2,80 meter zand. Na inklinking is het maaiveld 0,10 m ÷ N.A.P. gelegen. De uitbreidingen ten zuid-oosten van Amsterdam zijn met 1,50 à 2,70 m zand opgehoogd.

1.3 Recente ontwikkelingen van het bouwrijp maken in Nederland

Na de Tweede Wereldoorlog hebben een aantal ontwikkelingen met betrekking tot stadsuitbreidingen en woningbouw ertoe geleid dat bij het maken van de nieuwe stedelijke gebieden weinig aandacht is besteed aan het inspelen op de bestaande bodemgesteldheid, waterhuishouding en het landschap. Een zwaar accent werd gelegd op de aanpassing van het terrein. Zoals eerder is aangegeven vond deze benadering in het westen en noorden van Nederland reeds vanouds plaats, doch nu op grote schaal. De terreinaanpassing bestaat uit het veelal integraal ophogen van het gebied met 1 à 2 meter, tot zelfs 4 meter, zand. Deze ontwikkeling heeft zich doorgezet tot op de dag van vandaag, hoewel sinds 1970/1974 ook andere opvattingen zijn ontwikkeld (par. 1.4). Ook in de overgangsgebieden, de overgang van de hogere zandgronden naar de lager gelegen klei/veen-gebieden en in het rivierengebied is het terrein vaak integraal opgehoogd (par. 1.4.1). Het is in deze gebieden en in de hoog gelegen zandgronden dat vooral grootschalige ingrepen zijn gedaan in de waterhuishouding. Na de Tweede Wereldoorlog was er een enorm woningtekort ontstaan, niet alleen door oorlogsverwoestingen, maar ook door de stilstand van de bouwnijverheid in de oorlogsjaren. Vervolgens is de bevolking sterk toegenomen en is de gemiddelde woningbezetting gedaald. De woningbehoefte nam hierdoor sterk toe.
Het verstedelijkingsbeleid in Nederland is gericht geweest op een zekere mate van concentratie. Deze visie is sinds 1958, toen de eerste nota over de verstedelijking verscheen, niet wezenlijk gewijzigd [1-18]. Tengevolge van genoemde ontwikkelingen ten aanzien van de woningbehoefte en beleidvoornemens ten aanzien van de ruimtelijke ordening werden de bouwplaatsen groter en moest het tempo van de bouw hoger worden. Dit betekent dat de keuze om het terrein integraal op te hogen aantrekkelijker werd. Zo werd er bijvoorbeeld ten aanzien van het bouwrijp maken van Amsterdam-Bijlmermeer gesteld dat er moest worden opgespoten vanwege het grote aantal woningen dat er per jaar moest worden gebouwd. Arnhem-Zuid was in een hoog tempo te realiseren omdat tijdig gekozen was voor integraal opspuiten van het bouwterrein.

Vrij algemeen komt men in rapporten, waarin de keuze van het bouwrijp maken wordt voorbereid, het argument tegen dat in verband met tijdgebrek bouwrijp maken onafhankelijk gemaakt moet worden van de stedebouwkundige planvorming. De ontwerpende diensten en adviesbureau's krijgen weinig tijd om de plannen voor te bereiden. De stedebouwkundige plannen moeten tot op het laatste moment kunnen worden aangepast. Dit is niet goed mogelijk bij een methode waarbij zandcunetten worden aangebracht; de plaats van de wegen moet in dat geval al bekend zijn. Bij integraal ophogen behoeft alleen de grens van het bouwterrein in een vroeg stadium vast te staan.

De woningbouw is de laatste tientallen jaren steeds meer industriële woningbouw geworden in verband met het streven naar verhoging van de produktiviteit. De factoren die van invloed zijn op de produktie en die van belang zijn voor het bouwrijp maken zijn:
- De verplaatsing van arbeid naar de fabriek. Dit omvat zowel de sterk geïndustrialiseerde methoden van de grote elementenbouw als ook toepassingen van prefabricatie. Deze ontwikkeling heeft zwaar transport naar het bouwterrein teweeg gebracht, evenals toepassing van zwaar materieel op het bouwterrein en opslag aldaar van

grote elementen. Dit alles stelt zware eisen aan het bouwterrein.
- De mechanisatie op de bouwplaats. Ook deze ontwikkeling stelt zware eisen aan de gesteldheid van het bouwterrein.
- De organisatie van de aannemer. Hieronder valt een goede regeling en orde van het werk, de juiste tijdsbepaling van de toelevering, een efficiënte opslag, werkopvolging en arbeidsorganisatie. Dit vraagt een goed draagkrachtig en goed ontwaterd bouwterrein.

De eisen met betrekking tot de kwaliteit van de woningbouw zijn hoger geworden. Nu is de invloed van het bouwrijp maken op de kwaliteit van de woningen moeilijk vast te stellen. Zeker is echter dat een goed begaanbaar en droog bouwterrein de kwaliteit van de woning ten goede komt. Er worden bovendien zwaardere eisen gesteld aan de kwaliteit van het terrein na de bouwfase, dus tijdens het functioneren van het gebied als woongebied.

De consequenties van deze ontwikkelingen voor het bouwrijp maken zijn niet eenduidig aan te geven. Algemeen kan gesteld worden dat tegenwoordig zwaardere eisen aan het terrein gesteld worden, zowel gedurende de bouwfase als gedurende de woonfase. Het is echter niet zo dat na 1945 de bouwterreinen alleen nog maar integraal zijn opgehoogd. Behalve op de hooggelegen, goed ontwaterde zandgronden wordt de cunettenmethode ook vaak toegepast in droogmakerijen met goed gerijpte kleigronden en op de jonge zeekleigronden waar een niet te dik kleidek een meer zandige ondergrond bedekt.

Naast de genoemde ontwikkelingen in de bouw, die van invloed zijn op het bouwrijp maken van terreinen, zijn er nog enkele ontwikkelingen die veel directer daarop van invloed zijn. Het betreft ontwikkelingen in de stedelijke drainagetechniek, in de stedelijke waterbeheersing en in het stedelijk groen. Hierna wordt achtereenvolgens op deze drie ontwikkelingen ingegaan.

Ontwikkelingen in de stedelijke drainagetechniek
In stedelijke gebieden werd de grondwaterstand veelal beheerst met behulp van open waterlopen (grachten, singels). De hierboven besproken ontwikkelingen ten aanzien van het ophogen en de steeds hoger gestelde eisen gelden ook voor de ontwateringsbehoefte van bouwterreinen en woongebieden. In de loop van de zeventiger jaren werd er vooral door de Rijksdienst van de IJsselmeerpolders en enkele ingenieursbureaus onderzoek verricht naar de stedelijke drainage. Vooral het feit dat opgehoogde terreinen zeer drainagebehoeftig zijn, en de vele verstoringen van het drainagesysteem die tijdens werkzaamheden in de bouwfase optreden, vraagt om specifieke stedelijke drainagesystemen. Met deze drainagesystemen moet, zowel tijdens de bouw als daarna in de woonfase, de grondwaterstand voldoende laag worden gehouden.

Om de verstoringen in het drainagesysteem te beperken is men de drainage dieper gaan leggen. Met de ontwikkeling van draineermachines die tot 3 à 5 meter diep kunnen draineren zijn er nauwelijks beperkingen meer. Hiermee hangt ook samen de ontwikkeling en toepassing van kunststof ribbeldrains, die zeer eenvoudig zijn te verwerken. Als 'echte' stedelijke drainagesystemen zijn ontwikkeld de diep gelegen drainage gecombineerd met, indien nodig tijdens aanleg- of herstelwerkzaamheden, horizontale bronbemaling. Daarnaast is het kruiselingse drainagesysteem ontwikkeld. Hierbij liggen twee drainagenetten kruiselings over elkaar. Verstoringen worden hierbij geaccepteerd omdat via het kruisnet vrijwel altijd afvoer mogelijk is [1-19].

Ontwikkelingen in de stedelijke waterbeheersing
De ontwikkelingen op het gebied van de stedelijke waterbeheersing zijn naast technisch ook organisatorisch van aard. Voor de stedelijke waterbeheersing zijn de ontwikkelingen op het gebied van de riolering van groot belang [1-20, 1-21]. Belangrijk in dit verband is de rioolstelselkeuze. Het waterkwaliteitsaspect wordt bij het ontwerp van het open water pas de laatste jaren betrokken. Een belangrijke ontwikkeling bij het ontwerp van het waterbeheersingsysteem is verder de toepassing van niet-stationaire stromingsmodellen.
In de polders in West- en Noord-Nederland hebben zich bij het ontwerp van het oppervlakte-water behalve bovengenoemde aspecten geen principiële veranderingen voorgedaan. De noodzakelijke berging van de neerslag gaf altijd al aanleiding tot aanzienlijke oppervlakten water in het stedelijk gebied. Het belang van dit water in de stad is alleen maar versterkt door de recreatieve, esthetische en ecologische functies die er aan worden toegekend. Dit vraagt om een multi-disciplinaire benadering van het ontwerp. In hellende gebieden in Nederland werd tot voor kort de 'bergingsbenadering' niet vaak toegepast. Via beeknormalisaties zijn de problemen buiten het stedelijk gebied opgelost. Hoge kosten en aantasting van het milieu door deze afvoerbenadering maakt het nodig bergingsvijvers en infiltratievijvers toe te passen.

Het beheer van het open water binnen het stedelijk gebied is meestal in handen van de gemeente, terwijl in het landelijk gebied de waterschappen het beheer voeren. Beide watersystemen moeten goed op elkaar zijn aangepast. Daarom is de Unie van Waterschappen overgegaan tot het opstellen van richtlijnen voor een uniforme benadering van de afvoer van het verharde oppervlak [1-22]. Prioriteit wordt hierbij gegeven aan de bestuurlijk-financiële problematiek. Ook bestaat bij de waterschappen de wens dat overleg tussen gemeente en waterschap bij het opstellen van bestemmingsplannen zodanig geregeld wordt dat reeds in een vroeg stadium met de waterbeheersing rekening wordt gehouden. Te verwachten is dat de planning van de stedelijke waterbeheersing in de nabije toekomst meer integraal, in het kader van de Wet Verontreiniging Oppervlaktewater en de Wet op de Waterhuishouding, plaats vindt. In dit licht bezien zou voor elke gemeente een nat structuurplan ontwikkeld moeten worden, waarin de kwantitatieve en kwalitatieve waterbeheersing wordt geregeld in samenwerking met de plannen van het waterschap.

In de loop van de zeventiger jaren zijn steeds nadrukkelijker pogingen gedaan om landschappelijke elementen en locale karakteristieken in het ontwerp te gebruiken. Het bestuderen van natuurlijke en culturele gegevenheden en de intentie om deze zoveel mogelijk te gebruiken is een aanvaarde aanpak. Ook het opbouwen van een nieuw gevarieerd milieu in situaties waar het bestaande milieu is verdwenen of waar een weinig aantrekkelijk milieu bestond, is tot ontwikkeling gekomen. Door variatie aan te brengen in bodemgesteldheid en waterhuishouding wordt een gevarieerde planten- en dierenwereld nagestreefd.

1.4 Ruimtelijke ordening, bodemgesteldheid en waterhuishouding

1.4.1 Organisatie van de ruimtelijke ordening
Bouwrijp maken van terreinen vindt altijd plaats voor een woningbouwproject, voorzieningengebied of industrieterrein en is daardoor altijd verbonden aan één van de ruimtelijke plansoorten. Formeel is de wijze waarop het bouwrijp maken in dit verband aan de orde komt de in het Besluit Ruimtelijke Ordening genoemde noodzaak de natuurlijke gegevens van het gebied te onderzoeken. Aangezien de grondkosten bepaald worden door het bouwrijp maken, is dat bouwrijp maken ook van belang voor het noodzakelijke onderzoek naar de economische uitvoerbaarheid. Daarom wordt

kort ingegaan op de organisatie van de ruimtelijke ordening in Nederland. Daarna worden enige plansoorten besproken voorzover van belang in het kader van het bouwrijp maken. Dit geldt met name voor de Verstedelijkingsnota, het streekplan, het structuurplan en het bestemmingsplan.

In fig. 1.6 zijn de verschillende organen weergegeven die in de ruimtelijke ordening van belang zijn [1-23]. Het planologische adviesorgaan op *rijksniveau* is de Rijks Planologische Dienst (RPD). Dit is een ambtelijke dienst, die onderzoek verricht en adviezen uitbrengt aan de Minister van Volkshuisvesting en Ruimtelijke Ordening. De Rijksplanologische Commissie behartigt de coördinatie tussen de verschillende ministeries en bestaat uit topambtenaren van die ministeries. De Raad van Advies voor de Ruimtelijke Ordening dient voor de inbreng van de verschillende belangengroepen en geeft

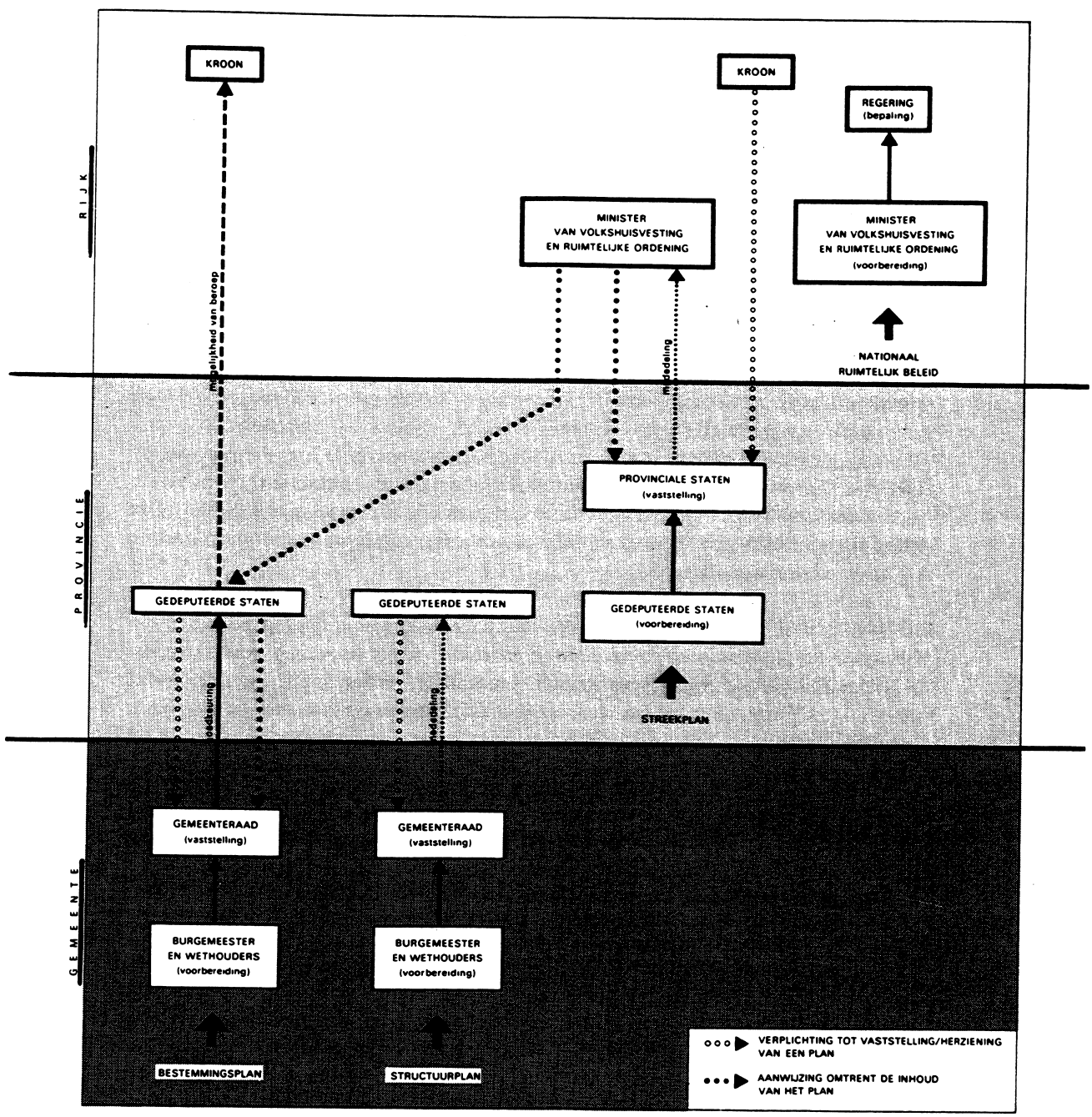


Fig. 1.6. Organen in de ruimtelijke ordening [1-23]

gevraagd en ongevraagd advies over vraagstukken met betrekking tot de ruimtelijke ordening.
Het planologisch adviesorgaan op *provinciaal niveau* is de Provinciaal Planologische Dienst (PPD). Zij bereidt streekplannen en andere planologische adviezen voor. Ter coördinatie van rijks- en provinciaal ruimtelijk beleid en voor de inbreng van de verschillende belangen is er de Provinciaal Planologische Commissie die het provinciaal bestuur van advies dient. In deze commissie zitten de regionale vertegenwoordigers van de meest bij het ruimtelijk beleid betrokken rijksdiensten, naast vertegenwoordigers van belangengroepen en niet-ambtelijke deskundigen.

Het planologisch adviesorgaan op *gemeentelijk niveau* is de stedebouwkundige dienst of een particulier adviesbureau.

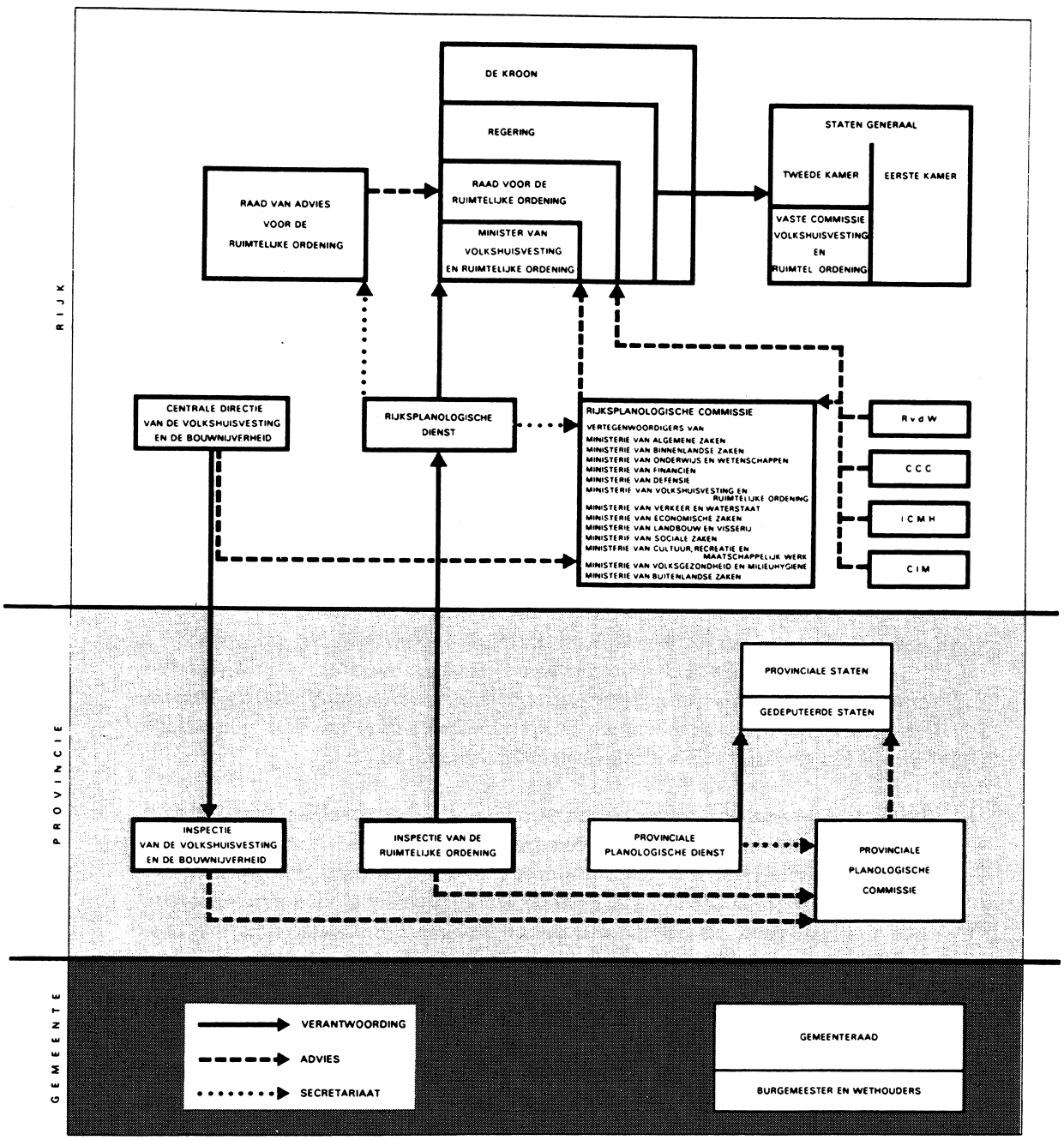


Fig. 1.7. Instrumenten van ruimtelijke ordening [1-23]

In fig. 1.7 zijn de instrumenten van de ruimtelijke ordening aangegeven. In nota's over de Ruimtelijke Ordening legt de regering het beleid vast. De meest recente is de zogenaamde Derde Nota over de Ruimtelijke Ordening, die in onderdelen verschijnt. Als onderdeel daarvan is de Verstedelijkingsnota verschenen. Daarin worden de omvang en de locaties van stads- en dorpsuitbreidingen en stadsvernieuwingsprojecten uitgewerkt.

De relatie met het bouwrijp maken kan worden gelegd via twee in de Verstedelijkingsnota genoemde richtlijnen. In deze richtlijnen wordt gesteld dat nieuwe woongebieden bij voorkeur gelokaliseerd worden in die gebieden, die door bodemeigenschappen geschikt zijn om bestaande landschappelijke elementen in de wooncomplexen op te nemen en dat nieuwe woongebieden dáár worden gesitueerd waar hoge kosten ten behoeve van grondaankopen en bouwrijp maken vermeden kunnen worden. Verder worden de integratie van landschappelijke elementen, de locatieproblematiek en de kostenconsequenties behandeld. In structuurschema's legt de regering de hoofdlijnen voor een beleid in één sector vast, bijvoorbeeld over de volkshuisvesting of over de drinkwatervoorziening.
De regering kan ook nota's uitbrengen over speciale onderwerpen of bepaalde gebieden. Zo kan een eventuele beleidsnota over ontgrondingen invloed hebben op het bouwrijp maken in verband met de mogelijkheden van zandwinning.

In het westen en noorden van Nederland is, zoals gezegd, sinds eeuwen de bodemgesteldheid en de waterhuishouding aangepast om stedelijke ontwikkeling mogelijk te maken. De gronden waarop verdere verstedelijking sinds het begin van deze eeuw, en vooral ook na de Tweede Wereldoorlog heeft plaats gevonden, waren veelal van dien aard dat omvangrijke aanpassingsmaatregelen van het terrein noodzakelijk waren. Na 1945 moesten echter ook steeds meer stadsuitbreidingen van woonkernen in het midden, oosten en zuiden van Nederland, die wat betreft bodemgesteldheid, hoogteligging en ontwatering wel gunstig waren gelegen, op de slechtere gronden worden gesitueerd. De belangrijkste reden hiervan is het feit dat op de aanwezige hoger gelegen en onvruchtbare zandgronden juist de natuurgebieden zijn ontstaan. Voorbeelden van deze ontwikkeling zijn de dorpen en steden op de dekzandruggen en in het rivierengebied.
Ook op de noordrand van Brabant, in Utrecht, aan de randen van de Veluwe en op de duinen en strandvlakten in West-Nederland zijn dergelijke situaties ontstaan. Bij de plaatsbepaling van stedelijke uitbreidingen moet dus met meerdere factoren rekening worden gehouden, zoals met de bodemgesteldheid en de waterhuishouding. Teneinde deze factoren systematisch te betrekken bij de plaatsbepaling van stadsuitbreidingen zijn er bodemgeschiktheids-beoordelingsmethoden ontwikkeld.

Op provinciaal niveau is het streekplan een plan voor de ruimtelijke ordening dat in hoofdlijnen de ontwikkelingen voor (een deel van) een provincie aangeeft. De relatie met het bouwrijp maken is dezelfde als die genoemd bij de Verstedelijkingsnota. In de keuze van de plaats van nieuwe stedelijke gebieden speelt het bouwrijp maken een rol, die in de vorm van de bodemgeschiktheidsbeoordeling kan worden toegepast. Daarnaast kan ook een ontgrondingsbeleid worden vastgesteld, hetgeen in verband met zandwinning van belang is.
In streekplannen is nog weinig aandacht besteed aan het bouwrijp maken, of algemener gesteld, aan de grondkosten. Uitzonderingen vormen enkele streekplannen van de provincies Utrecht en Noord-Holland. In Utrecht is een bodemgeschiktheidskaart gemaakt voor stedelijke uitbreidingen in de gehele provincie [1-24]. Hierop is aangegeven wat de kosten zijn voor een hectare te maken woongebied. Deze gegevens zijn gebruikt in de verschillende streekplannen en hebben ook een rol gespeeld in recente

locatiestudies [1-25]. Een ander voorbeeld is de studie naar kosten van bouwlocaties in Noord-Kennemerland in het kader van de voorbereiding van de herziening van het streekplan [1-26]. In de betreffende nota wordt geconstateerd dat tot voor kort geen of nauwelijks aandacht werd besteed aan de kosten bij het maken van streekplannen. Momenteel worden deze in toenemende mate van belang geacht, mede ten gevolge van de algemene economische ontwikkelingen.
Ook vanuit een ander uitgangspunt zijn de kosten bij de streekplanning van belang. De taakstelling van een gemeente wordt immers in belangrijke mate bepaald door de hogere overheid. Als het uitgangspunt wordt gehanteerd dat ieder van de overheidsniveaus ook in financieel opzicht verantwoordelijk is voor het eigen beleid, behoeft dit niet bezwaarlijk te zijn.
Men ziet echter dat de provincies zeer gedetailleerd toekomstige woongebieden aangeven, zonder onderzoek naar de economische uitvoerbaarheid. De gemeenten moeten vervolgens deze economische uitvoerbaarheid aantonen; er kunnen dan problemen ontstaan. Bij de locatiekeuze worden de grondkosten namelijk in grote mate vastgelegd.

Op gemeentelijk niveau is een structuurplan een plan waarin de toekomstige ontwikkeling van (een deel) van de gemeente of van meerdere gemeenten is vastgelegd.
Het structuurplan is bij uitstek een integratiekader voor gemeentelijke sectorplannen, bijvoorbeeld verkeersplannen, woningbouwplannen, groenstructuurplannen, welzijnsplannen. Het biedt de mogelijkheid om bestemmingsplannen en uitvoeringsplannen in groter verband te plaatsen.
In relatie tot het bouwrijp maken zijn daarbij de volgende onderwerpen aan de orde. De woningbouwlocaties moeten meer gedetailleerd worden uitgewerkt. Hierbij zijn ondermeer van belang de groenstructuur en het sparen en integreren van bestaande landschappelijke elementen. Ook is het gewenst het structuurplan als startpunt van de financiële begeleiding van verdere plannen te zien, in het kader waarvan de hoofdinfrastructuur en het bouwrijp maken globaal moeten worden uitgewerkt en begroot. In verband hiermee moet ook aandacht besteed worden aan de fasering van de werkzaamheden. Het structuurplan kan een essentiële rol spelen in de integrale kostenplanning (hoofdstuk 9). Aansluitend aan het structuurplan kunnen sectorplannen gemaakt worden, zoals een nat structuurplan (waterbeheersingsplan), een integraal afvalwaterafvoerplan, een ontgrondingsplan.

Op gemeentelijk niveau is het bestemmingsplan het plan dat de bestemming van de grond aangeeft, evenals voorschriften over het gebruik van de grond en de bebouwing. Het is het enige juridisch bindende plan voor de ruimtelijke ordening. De bij het structuurplan genoemde onderwerpen komen bij het bestemmingsplan weer aan de orde, maar nu meer gedetailleerd voor één locatie. Onderscheiden worden het globaal bestemmingsplan en het uitwerkingsplan. Bij het globaal bestemmingsplan wordt het principe van het bouwrijp maken vastgesteld. De uitwerking gaat tenminste zover dat een goede beschouwing over de economische uitvoerbaarheid kan worden gemaakt. Hier wordt aangegeven of het gehele terrein integraal moet worden opgehoogd met daarbij de globale ophoogmaat en het drainagesysteem. Het uit de ophoging te sparen groot groen wordt vastgelegd. Op basis van ervaringsgegevens of proefverkavelingen wordt het zand- en grondverzet bepaald en de hoeveelheid verharding op buurtniveau. Het hoofdontsluitingssysteem wordt in principe vastgelegd. Het soort rioolstelsel wordt gekozen, evenals het principe van de afwatering. Kostenconsequenties van verkavelingen en grondgebruik worden aangegeven. Bij het uitwerkingsplan wordt alles in detail uitgewerkt.

Het tot stand komen van een streek-, structuur- en bestemmingsplan is een bijzonder

gecompliceerd proces dat zich nauwelijks eenduidig in een aantal hoofdlijnen laat samenvatten. Diverse overheden hebben procedures voor de planvorming opgesteld om dit proces zo goed mogelijk te kunnen begeleiden en uitvoeren [1-27, 1-28, 1-29].

1.4.2 Bodemgesteldheid, waterhuishouding en ruimtelijk ontwerp

In de periode 1970–1982 zijn diverse studies uitgevoerd waarin gewerkt is volgens een benadering waarbij bodemgesteldheid, waterhuishouding en landschap als uitgangspunten zijn gebruikt bij het stedebouwkundig ontwerp. Zo'n benadering is van belang voor de onderling samenhangende aspecten: woonkwaliteit, groen en natuurlijk milieu, en kosten.

In de jaren 1965–1970 heeft het accent in de volkshuisvesting sterk gelegen op de kwantiteit. Het wat ongenuanceerde en negatieve stereotype beeld wordt door Brandes omschreven als grote nieuwbouwwijken waarin de menselijke maat zoek is en de anonimiteit van de mens wordt versterkt: wijken die zeer monotoon zijn [1-30]. Naast kenmerken als functiescheiding en hoogbouw in strokenverkaveling wordt geconstateerd dat in veel gevallen het terrein integraal werd opgespoten en het groen en water nieuw werden aangelegd. Bestaande landschappelijke elementen verdwenen uit het plan [1-30].

Als reactie op het boven geschetste beeld ziet men de stedebouwkundige vormgeving van de Nederlandse nieuwbouwwijken sinds 1970/1974 veranderen. Een gewijzigde benaderingswijze wordt geconstateerd ten aanzien van een aantal ontwerpaspecten [1-30]:

- Allereerst wordt getracht de wijk in zijn totaliteit meer vanuit het niveau van de woning en de directe woonomgeving te ontwerpen.
- Ook wordt in de plannen meestal integratie van functies nagestreefd.
- Men ziet in plannen een uitdrukkelijk streven de kwaliteit van historische milieus te maken. In tal van plannen worden historische stedebouwkundige ruimtesoorten gekozen, zoals grachten en besloten pleinen. Ook de herwaardering van de rechte straat, het gesloten bouwblok en de hogere dichtheden kunnen in dit licht worden gezien. In veel plannen overheersen de vrije plattegronden: korte blokjes met veel sprongen en hoeken, losgemaakt van de grotere structuur door middel van een doodlopende ontsluiting. In recente discussies zijn, naast kwalitatieve kritiek op deze 'nieuwe monotonie', ook als bezwaren de hoge bouw-, voorbereidings- en onderhoudskosten genoemd.
- Tenslotte worden landschappelijke elementen en lokale karakteristieken meer gebruikt in het ontwerp. Het bestuderen van natuurlijke en cultuurlijke gegevenheden en de intentie deze zoveel mogelijk te gebruiken wordt als een vrij algemeen aanvaarde benadering gezien.

Eind 1970 vindt de studiebijeenkomst 'Bodem en planologie' plaats [1-31]. De studie had tot doel na te gaan in hoeverre resultaten van bodemkundig en geologisch veldonderzoek waardevol kunnen zijn voor het bouwen, planten en aanleggen in een overwegend urbane samenleving. Ook van de zijde van de Rijks Planologische Dienst werd aandacht besteed aan dit onderwerp ter gelegenheid van de genoemde studiebijeenkomst [1-32]. In de hierna volgende periode werden verschillende werkwijzen ontwikkeld om de factoren bodem en water op meer systematische wijze in de planvorming te betrekken, de zogenaamde bodemgeschiktheidsbeoordeling (par. 9.6). Zoals eerder aangegeven is deze benadering op bovengemeentelijke schaal niet vaak toegepast.

Het is niet eenvoudig de invloed te bepalen die het gebruik maken van de bodemgesteldheid en waterhuishouding heeft op de kwaliteit van de woonomgeving. Veel voorbeelden geven aan dat het niet mogelijk is kwaliteitsverschillen in gerealiseerde

wijken te vinden die zijn terug te voeren op verschillen in bouwrijp maken en het betrekken van de uitgangssituatie in het ontwerp. Het is twijfelachtig of in een dichtbebouwd stedelijk gebied landschappelijke elementen als een slotenstructuur, of een weg met beplanting, een bijdrage kunnen leveren aan de plankwaliteit. De verticale, stenen bebouwing is zo overheersend dat dergelijke elementen nauwelijks zijn terug te vinden. Daarbij doet zich het volgende dilemma voor. Voor het gebruik van bodem, water en natuurlijke elementen is ruimte nodig. Indien er echter vanuit wordt gegaan, zoals in de Verstedelijkingsnota, dat steden compact moeten worden gebouwd, zowel wat betreft begrenzing als wat betreft bebouwingsdichtheid, dan is er vrijwel geen ruimte om te spelen met het programma van eisen, bodemgesteldheid en milieukwaliteiten. De inpassing van milieukwaliteiten in het stedelijk gebied en de wensen tot hoge bebouwingsdichtheden zijn tot op zekere hoogte strijdig gebleken. Wel zijn er ook voorbeelden waar een duidelijk positief resultaat valt te constateren bij het gebruiken van de bestaande situatie. Dat betreft in het algemeen echter elementen van een grotere omvang.

Nu geconstateerd is dat ontwerpideeën sinds een aantal jaren mede gebaseerd zijn op het inspelen op natuurlijke en cultuurlijke gegevenheden, is een evaluatie van de consequenties daarvan voor de woonkwaliteit gewenst. De voor zo'n benadering noodzakelijke studies naar de bodemgesteldheid en waterhuishouding en de afweging tussen alternatieve methoden van bouwrijp maken, blijken slechts beperkt te worden uitgevoerd. Ook de samenhang tussen civiel-technische aspecten onderling, en tussen civieltechnische aspecten en stedebouwkundige ontwerpcriteria, zijn soms slechts ten dele uitgewerkt. Veel onderzoek ten aanzien van het bouwrijp maken wordt pas in de uitvoeringsfase verricht.
De oplossing voor bovengenoemd dilemma ligt in het in grotere eenheden concentreren van bebouwde en onbebouwde, te integreren, gebieden, zowel op stadsniveau als op wijkniveau. Het gebruiken van bodemgesteldheid, waterhuishouding en milieukwaliteiten is gewenst op nationaal niveau en vooral op streekplan-niveau en structuurplanniveau. Zowel wat betreft woonkwaliteit, natuurlijk milieu en kosten is dit gewenst. Dit onderwerp wordt in volgende hoofdstukken verder uitgewerkt.

1.5 Bouwrijp maken van terreinen

Een goed bouwrijp gemaakt terrein is een terrein waarop het goed mogelijk is te bouwen en te wonen. Het is een terrein dat goed begaanbaar is, zettingsvrij, droog, zonder kans op overstroming, met een goed groeimilieu, tegen lage investeringen en met lage onderhoudskosten. Er is met betrekking tot het bouwrijp maken nergens een uniforme kwaliteitsnorm vastgelegd. Er bestaat ook geen organisatorisch verband waarbinnen deze kwestie onderwerp van onderzoek is. Dit in tegenstelling met bijvoorbeeld rioleringsontwerp en waterkwaliteit. Elke gemeente heeft eigen normen ten aanzien van de kwaliteit. In feite is de beoordeling van de grondkosten door de Directie Volkshuisvesting in de provincies, en door het Directoraat Generaal van de Volkshuisvesting, de enige formele procedure waarbinnen de kwaliteit van het bouwrijp maken ter discussie staat. De beoordeling van de kwaliteit van het bouwrijp maken vindt dan echter op indirecte wijze plaats. Centraal staat de beoordeling van de kavelkosten. Deze beoordeling van de kavelkosten is echter gericht op het laag houden van de directe woonlasten en op het voorkómen van budgettaire problemen bij de rijksoverheid en niet op de kwaliteit van het terrein zelf. Zo is men het over het algemeen niet gauw eens over de noodzaak van nieuw toe te passen methodieken van bouwrijp maken als blijkt dat bestaande methodieken van bouwrijp maken goedkoper zijn wat betreft directe investeringen.

In dit boek wordt gepleit voor een meer integrale benadering van kwaliteit en kosten van het bouwrijp maken. Essentieel in een dergelijke benadering is het feit dat er verschuivingsmogelijkheden bestaan tussen een aantal kostencomponenten (fig. 1.8). In het kader van woningbouwprojecten zijn er verschuivingsmogelijkheden tussen grondkosten, bouwkosten inclusief funderingskosten, en beheerskosten. Beheerskosten zijn de kosten die nodig zijn voor het functioneren van het stedelijk gebied, voor zover niet toegerekend aan grond- en bouwkosten. Het betreft bijvoorbeeld kosten voor nutsvoorzieningen, energiekosten en onderhoud. Dit complex van kosten wordt ondermeer beïnvloed door de locatie en inrichting van de stedelijke gebieden en door de kwaliteit van het bouwrijp maken. Het kwalitatieve verband geeft aan dat het investeringsniveau van het bouwrijp maken een relatie heeft met het latere benodigde onderhoud. Een laag investeringsniveau heeft in het algemeen meer onderhoud tot gevolg. Verlaging van de kwaliteit kan ook een vergroting van risico inhouden, bijvoorbeeld risico ten aanzien van de uitvoeringstijd van de bouw of schade of overlast tijdens de woonfase. De integrale benadering betekent dat in dit boek soms een aanpak of normstelling wordt uitgewerkt die niet altijd en overal in de praktijk gangbaar is.

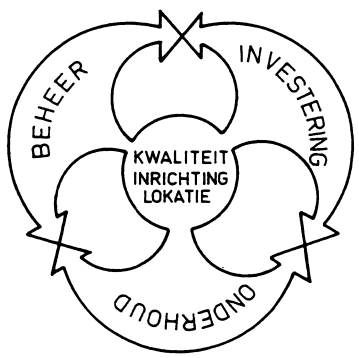


Fig. 1.8. Een integrale benadering van technische kwaliteit, ontwerp en kosten

In de diverse hoofdstukken zullen de kwaliteitsaspecten nader worden uitgewerkt en de te hanteren normen nader worden beargumenteerd. Uitgangspunt daarbij is dat een goed bouwrijp gemaakt terrein wat betreft ontwerpdoelstellingen en kosten veelal aantrekkelijk is. Een deel van de bezuinigingsmogelijkheden op het bouwrijp maken blijken niet aantrekkelijk te zijn omdat het veelal tot verschuiving van kosten naar andere kostencomponenten leidt (fig. 1.11). Aan de andere kant wordt heel nadrukkelijk gesteld dat normen en/of bestaande methoden van bouwrijp maken geen doel op zichzelf zijn. Steeds zal beoordeeld moeten worden of datgene wat gangbaar is nog wel van toepassing is op het aan de orde zijnde probleem.

Gepleit wordt ook om consequent bodemgeschiktheidsbeoordelingen te maken voor streekplannen, structuurplannen en, indien nodig, voor bestemmingsplannen. Uit de beschikbare studies blijkt dat belangrijke kosteninformatie kan worden geleverd voor de ruimtelijke planning en de woningbouw. De bodemgeschiktheidsbeoordeling kan dan onderdeel zijn van de kostenplanning en levert informatie voor het ontgrondingsbeleid en het milieubehoud. Kostenplanning moet onderdeel zijn van elke plansoort en vanaf het allereerste begin. Vooral op structuurplanniveau en bij het vaststellen van de hoofdstructuren van het bestemmingsplan kan het beschermen of de integratie van bestaand groen en landschappelijke elementen aan de orde komen.

Vooral vanuit het oogpunt van de meer integrale benadering van de kosten zal het nodig zijn dat er verrekeningen plaats vinden tussen de diverse overheden en andere

belanghebbenden. Zo komen nu hogere investeringen voor het bouwrijp maken ten laste van de kavels (rijk, bewoner) maar het profijt van de lagere onderhoudslasten komen bijvoorbeeld ten goede aan gemeente of nutsbedrijven. Ook het omgekeerde komt voor. Dit vereist mogelijk andere methodieken waarmee de kosten toegerekend worden naar de diverse partijen. Een sterkere coördinatie tussen de diverse kostendragers en gebruikers, zowel in verticale zin tussen de overheden als in horizontale zin tussen de betrokkenen, zal nodig zijn [1-33].

Over het algemeen valt te constateren dat de kennis op het gebied van de bodemgesteldheid en de waterhuishouding in een vroeger stadium bij het ontwerp van woonwijken moet worden ingebracht. Hierdoor kunnen technisch minder wenselijke en dure oplossingen worden voorkómen en bestaat de mogelijkheid dat een goede wisselwerking tot stand wordt gebracht tussen uitgangssituaties en ontwerp.

Bouwrijp maken van terreinen is altijd verbonden geweest met stadsuitbreidingen. Een steeds belangrijker deel van de woningbehoefte zal gerealiseerd worden via stadsvernieuwing. Het is wenselijk dat civieltechnici nadrukkelijker gaan nadenken over en ervaringen gaan evalueren met betrekking tot het bouwrijp maken in stadsvernieuwingsprojecten.

1.6 Samenvatting

In de inleiding van hoofdstuk 1 wordt het bouwrijp maken van terreinen gedefinieerd en wordt het vakgebied, zoals dat in dit boek wordt gehanteerd, omschreven en afgebakend. Er wordt een korte beschouwing gegeven over de wijze waarop in de voorgaande eeuwen in Nederland terreinen voor de woningbouw geschikt werden gemaakt. Daarbij valt op dat reeds eeuwen geleden uitgebreide civieltechnische werken werden uitgevoerd om de slappe veen- en kleigronden in het westen van Nederland geschikt te maken voor de woningbouw. Na de Tweede Wereldoorlog, toen in Nederland uitgebreide activiteiten op het gebied van de woningbouw op gang kwamen, zijn vele nieuwe technieken ontwikkeld in het bouwrijp maken. Deze ontwikkelingen worden in dit hoofdstuk in het kort aangegeven.
In de jaren na de Tweede Wereldoorlog is in de planologie een ontwikkeling op gang gekomen, die veel invloed heeft op de aandacht die aan het bouwrijp maken wordt besteed. Tenslotte wordt het hoofdstuk afgesloten met een pleidooi voor een betere inpassing van het bouwrijp maken van terreinen in de stedelijke planvorming.

2 De bodemgesteldheid

2.1 Inleiding

Het bouwrijp maken van een terrein wordt in belangrijke mate bepaald door de eigenschappen van de bodem. De samenstelling van de bovenste lagen van het bodemprofiel wordt in het algemeen bodemgesteldheid genoemd en deze is vooral van invloed op de begaanbaarheid, de draagkracht, de ontwatering en het groeimilieu. De dieper gelegen lagen worden veelal met behulp van de geologische opbouw weergegeven en deze is vooral van belang voor de zetting, de waterhuishouding en de fundering van gebouwen. Bodemgesteldheid en geologische opbouw zijn in sterke mate bepalend voor de maatregelen die nodig zijn voor het bouwrijp maken van terreinen. In dit hoofdstuk wordt allereerst ingegaan op de classificatie van de verschillende bodemsoorten. Vervolgens worden de eigenschappen van de verschillende bodemsoorten beschreven, voorzover die voor het bouwrijp maken van belang zijn. Eveneens wordt ingegaan op de geologische opbouw van de ondergrond van Nederland en op de kaarten die informatie bevatten over de bodemgesteldheid en de geologische opbouw. Tenslotte worden aan de hand van een twintigtal voorbeelden de verschillende methoden van bouwrijp maken beschreven, zoals ze in Nederland worden toegepast, afhankelijk van bodemgesteldheid en geologische opbouw.

2.2 Bodemclassificatie en bodemeigenschappen

Er bestaan voor de classificatie van gronden diverse systemen, veelal toegesneden op specifieke toepassingsgebieden. In Nederland alleen al zijn er enkele classificatiesystemen in omloop.

De Stichting voor Bodemkartering heeft de studie naar definiëring van begrippen vastgelegd in het 'Systeem van bodemclassificatie voor Nederland' [2-1]. Deze begrippen worden gebruikt bij de Bodemkaart van Nederland (1 : 50.000). Ook de Landinrichtingsdienst kent een eigen classificatiesysteem, dat gebaseerd is op de indeling van de Stichting voor Bodemkartering [2-2]. De hier gehanteerde begrippen zijn overgenomen uit de door de Rijks Geologische Dienst gehanteerde classificatie van onverharde sedimenten [2-3]. Verschillende landen en internationale organisaties hebben eigen bodemclassificatiesystemen. Hieraan wordt in dit boek verder voorbijgegaan.

De bodem is een poreus medium dat in het bovenste deel van het profiel doorgaans uit drie fasen bestaat: vaste delen, water en lucht (hoofdstuk 3 en 7). De eigenschappen van de bodem worden besproken aan de hand van de kenmerken van de vaste delen. De vaste delen worden onderscheiden in minerale delen en organische delen.

De eerste stap in de classificatie van de vaste delen bestaat uit het benoemen van de afmetingen van de minerale delen in het sediment. De minerale delen bestaan uit korrels van diverse grootte, aard en eigenschappen. De korrelgrootte-verdeling wordt textuur genoemd en is een van de belangrijkste kenmerken van de grond. De indeling en

benaming van de textuur gebeurt aan de hand van de fracties, dat zijn de gedeelten van de deeltjes met een bepaalde afmeting (fig. 2.1):

- de lutumfractie : fractie < 2 µm (0,002 mm),
- de siltfractie : fractie 2–63 µm (0,002–0,063 mm),
- de zandfractie : fractie 63–2000 µm (0,063–2 mm),
- de grindfractie : fractie 2–63 mm,
- de stenenfractie : fractie > 63 mm.

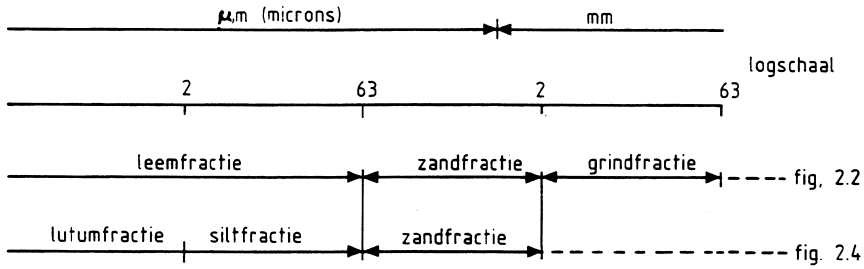


Fig. 2.1. Fractie-indeling ten behoeve van de classificatie [2-4]

De tweede stap in de classificatie is het bepalen en benoemen van de bodem als mengsel van fracties. Dit benoemen van mengsels gebeurt op 3 niveaus.
Op het eerste niveau worden minerale mengsels onderscheiden van organische stofmengsels.
Mengsels van organische stof met zand, silt en lutum worden veen of venig genoemd als het mengsel meer dan 15 tot 30% organische stof bevat (fig. 2.2). Organische stof bestaat uit alle levende en dode plantaardige produkten in de bodem. Als het mengsel minder dan 15 tot 30% organische stof bevat, wordt het als mineraal mengsel nader benoemd op het tweede niveau en kan het een voorvoegsel krijgen, bijvoorbeeld humusrijk.
De minerale mengsels worden op het eerste niveau van de tweede stap onderscheiden in grind en niet-grind. Grind-zand-leemmengsels worden grind genoemd indien het mengsel meer dan 30 gewichtsprocenten grindfractie bevat (fig. 2.3). Bevat het mengsel minder dan 30% grind, dan wordt het nader benoemd op het tweede niveau en kan het een voorvoegsel krijgen, bijvoorbeeld sterk grindig.
Op het tweede niveau worden in een aparte classificatiedriehoek zowel de minerale mengsels met minder dan 30% grind als de organische mengsels met minder dan 15 tot 30% organische stof nader ingedeeld (fig. 2.4). Bij deze indeling op het tweede niveau wordt het zand-silt-lutummengsel samen op 100 gewichtsprocenten gesteld. De mengsels worden benoemd volgens de in tabel 2.1 en 2.2 aangegeven namen. Alle rivier- en zeeafzettingen met meer dan 8% lutum worden nader ingedeeld naar het lutumgehalte (tabel 2.1). De windafzettingen, zoals dekzand, duinzand en löss worden nader ingedeeld naar het leemgehalte (tabel 2.2).

Tabel 2.1. Indeling en benaming naar het lutumgehalte [2-1]

% lutum	Naam	Samenvattende naam	
0 – 5	kleiarm zand		zand*
5 – 8	kleiig zand		zand*
8 – 12	zeer lichte zavel	lichte zavel	klei
12 – 17,5	matig lichte zavel	lichte zavel	klei
17,5 – 25	zware zavel	lichte zavel	klei
25 – 35	lichte klei		klei
35 – 50	matig zware klei	zware klei	klei
50 – 100	zeer zware klei	zware klei	klei

*) tevens meer dan 50% zandfractie

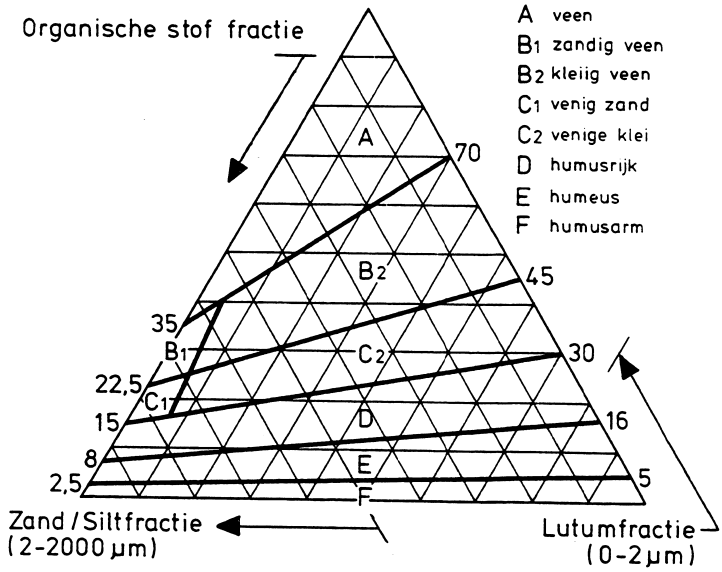


Fig. 2.2. Classificatiedriehoek voor mengsels met een organische stof-, een zand/silt- en een lutumfractie (in veldvochtige toestand). De fracties geven gewichtsprocenten weer [2-3]

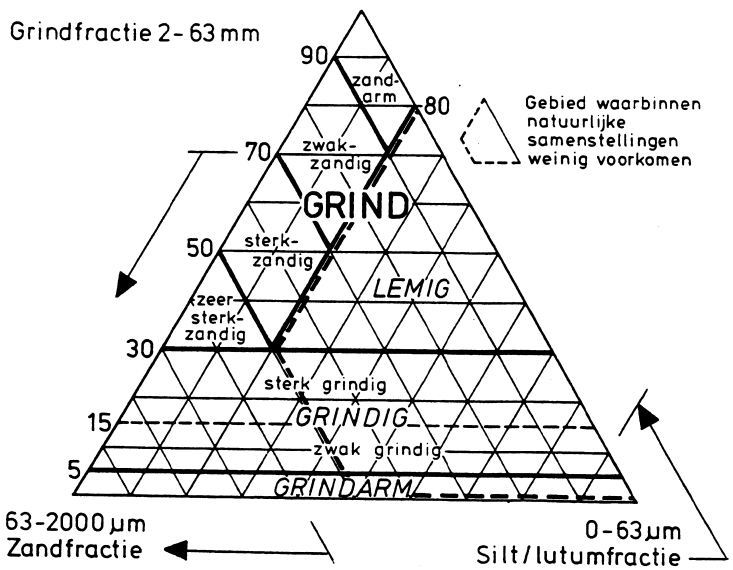


Fig. 2.3. Classificatiedriehoek voor mengsels met een grind-, een zand- en een silt/lutumfractie. De fracties geven gewichtsprocenten weer [2-3]

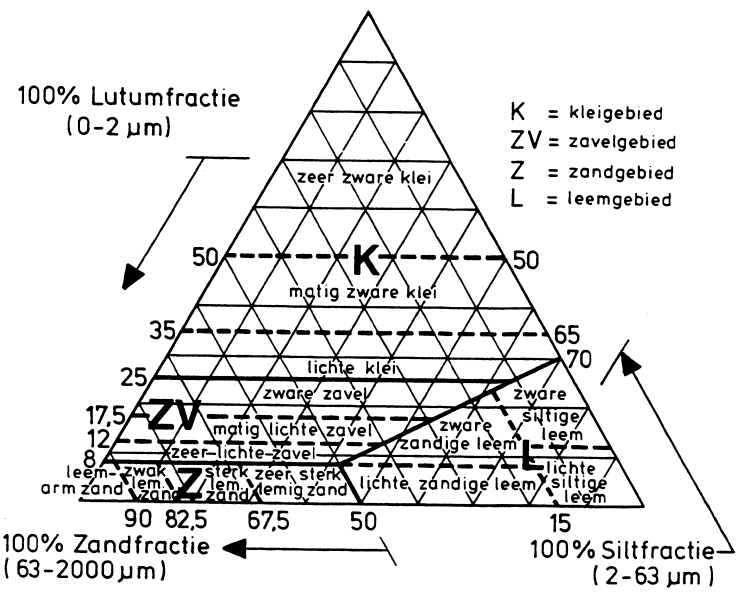


Fig. 2.4. Classificatiedriehoek voor mengsels met een zand-, een silt- en een lutumfractie. De fracties geven gewichtsprocenten weer [2-3]

Tabel 2.2. Indeling en benaming naar leemgehalte [2-1]

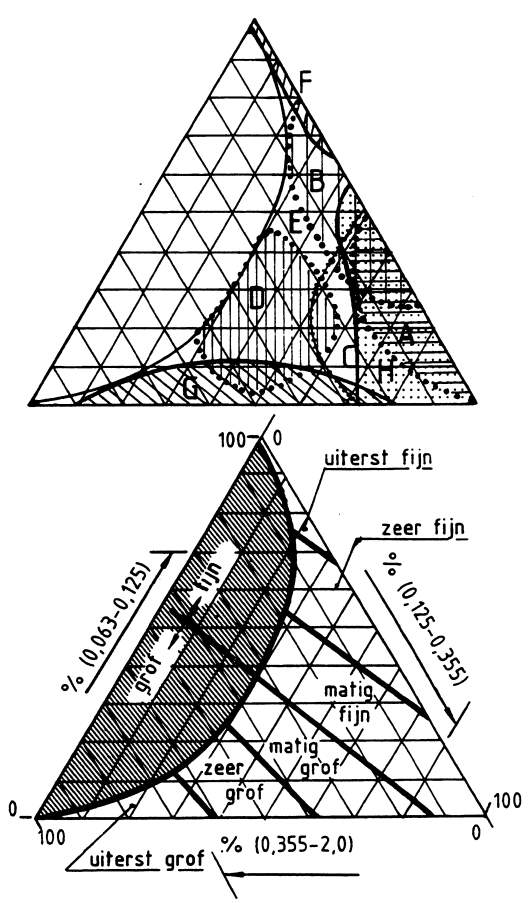
% leem	Naam	Samenvattende naam	
0 – 10	leemarm zand		
10 – 17,5	zwak lemig zand	lemig zand	zand*
17,5 – 32,5	sterk lemig zand		
32,5 – 63	zeer sterk lemig zand		
63 – 85	zandig leem		leem**
85 – 100	siltig leem		

*) tevens minder dan 8% lutum
**) Stiboka legt de grens tussen leem en zand bij 50 µm

Mengsels gelegen in het zandveld van de classificatiedriehoek, dus met meer dan 50% zandfractie en minder dan 8% lutum, worden op het derde niveau nader onderverdeeld. Deze onderverdeling wordt met behulp van de zandmediaan (M_{63}) aangegeven. Hieronder wordt verstaan de korrelgroottewaarde, waarbij 50% van de massa van de zandfractie grover en 50% fijner is (tabel 2.3).

Tabel 2.3. Indeling en benaming naar de mediaan van de zandfractie [2-3]

M_{63} tussen	Naam	Samenvattende naam
63 – 106 µm	uiterst fijn zand	
106 – 150 µm	zeer fijn zand	fijn zand
150 – 212 µm	matig fijn zand	
212 – 300 µm	matig grof zand	
300 – 425 µm	zeer grof zand	grof zand
425 – 2000 µm	uiterst grof zand	



A leemarm eolisch zand (stuifzand, jong dekzand)
B lemig eolisch zand (oud dekzand)
C beekzand, fijn rivierzand
D goed gegradeerde afzettingen
E keileem (zandfractie)
F uiterst fijn bekkenzand
G grof rivierzand
H estuarium- en zeezand (wadzand, strand-en duinzand)

geen natuurlijke zanden.

Fig. 2.5. Zanddriehoek van de Stichting Studiecentrum Wegenbouw en een aanduiding van de acht Nederlandse zandachtige afzettingen. De fracties geven de indeling in gewichtsprocenten weer van de totale zandfractie [2-4]

De Stichting Studiecentrum Wegenbouw heeft nog weer een eigen indeling gemaakt die weergegeven is in een zanddriehoek [2-4]. De indeling is van belang omdat deze ontwikkeld is in verband met de classificatie van zand voor de wegenbouw, hetgeen nauw samenhangt met het bouwrijp maken (hoofdstuk 4) (fig. 2.5).

Behalve naar de textuur van de bovengrond kan de bodem ook op andere wijze worden ingedeeld. Zo kent de bodemkaart een indeling naar de samenstelling en het profielverloop van de bovenste 1,30 m. De geologische kaart kent een indeling naar de aard, samenstelling en het ontstaan van het materiaal. Voor West-Nederland speelt bij de indeling van de geologische kaart ook de profielopbouw een grote rol. Op deze indelingen wordt in de volgende paragrafen nader ingegaan.

Een aantal bodemeigenschappen zijn van belang voor het bouwrijp maken. Enerzijds zijn dat eigenschappen die afhankelijk zijn van de textuur van de grond, zoals doorlatendheid en vochthoudend vermogen. Anderzijds zijn dat eigenschappen die direct van belang zijn voor aspecten van het bouwrijp maken, zoals draagkracht, begaanbaarheid en samendrukbaarheid. In tabel 2.4 zijn deze factoren weergegeven.

Tabel 2.4. Factoren van belang voor het bouwrijp maken

factor \ grondsoort	zand	fijn zand en zavel	klei	veen
draagkracht en begaanbaarheid	groot	matig tot groot	klein tot matig	zeer klein
samendrukbaarheid	klein	klein	matig	zeer groot
vochthoudend vermogen	klein	groot	groot	groot
doorlatendheid	groot	matig	klein tot groot	klein

Begaanbaarheid is het vermogen om het terrein te berijden of te betreden; draagkracht is het vermogen om weerstand te bieden tegen statische belasting. Voor zowel de bouwfase als de woonfase is dit van belang (hoofdstuk 4). Onder wegen mag geen zand met een humusgehalte groter dan 3% en een percentage leem groter dan 15% worden toegepast. Bij zandgronden betekent dit dat in dergelijke gronden een wegcunet (zandbaan) moet worden aangebracht. Tevens is te beoordelen of zand van binnen het plangebied te gebruiken is voor dergelijke wegcunetten. Lemig zand en leem zijn slempgevoelig zodat bij berijden in natte omstandigheden plassen ontstaan. Tevens kan bij een dergelijke ondergrond gemakkelijk vorstschade optreden (hoofdstuk 5).
Bij zee- en rivierafzettingen is de vraag aan de orde of zavel- en kleigronden integraal moeten worden opgehoogd met zand dan wel dat alleen zand in de cunetten van de verharding moet worden aangebracht (hoofdstuk 4).
Goed ontwaterde zavel- en kleigronden zijn onder droge omstandigheden goed begaanbaar, maar bij neerslag neemt de begaanbaarheid sterk af. Naarmate het lutumgehalte en humusgehalte van de grond hoger wordt zal een grond onder invloed van een verhoging van het vochtgehalte sneller slecht begaanbaar worden. Door berijden verdicht de grond en neemt de doorlatendheid af. Bij neerslag ontstaat zo plasvorming, waardoor de begaanbaarheid verder afneemt en kuilen ontstaan. Het terrein wordt onberijdbaar. Fijnzandige terreinen bezitten ook een kleine doorlatendheid met hetzelfde bovenomschreven effect. Op grond van ervaringen en onderzoekresultaten kan met de nodige voorzichtigheid gesteld worden dat bezanding van bouwterreinen achterwege kan blijven bij een lutumgehalte kleiner dan 8% en een M_{50} groter dan 150 µm. De omgekeerde conclusie kan niet zonder meer worden getrokken.

De samendrukbaarheid van de grond geeft informatie over de mate waarin de grond onder invloed van een belastingtoename wordt samengedrukt zodat het maaiveld lager komt te liggen (zetting). Deze zetting is van belang in verband met het bepalen van de dikte van aan te brengen (zand-)lagen, de hoogte van het definitieve maaiveld en de tijdsduur waarover de zakking (zetting) plaats vindt (hoofdstuk 4). Dit laatste wordt ook bepaald door de doorlatendheid van de samendrukbare grondlagen. Zandgronden zetten zo goed als niet. Bij klei- en veengronden is er een vrij grote spreiding in de mate waarin de zetting plaats vindt.
De mate van zettingsgevoeligheid van een grond wordt uitgedrukt met de samendrukkingsconstante C (tabel 2.5). De zetting is recht evenredig met de dikte van de samendrukbare laag, welke dus van groot belang is.

Tabel 2.5. Samendrukkingsconstante C.

Zand	20 – 200
Klei/leem	10 – 20
Veen	2 – 7

De doorlatendheid van de grond onder verzadigde omstandigheden is de snelheid waarmee het water door de grond kan stromen (hoofdstuk 5). Deze is van belang in verband met het realiseren van een goed droog bouwterrein en woongebied. De doorlatendheid van de grond wordt uitgedrukt met de doorlatendheidscoëfficiënt K (tabel 2.6).

Tabel 2.6. Doorlatendheidscoëfficiënt K (m/etm); zuiver zand, zonder bijmengsels

zandig grind	10 – 100
grof zand	2 – 10
matig fijn zand	1 – 2
zeer fijn zand	0,3 – 1
silt	10^{-2} – 10^{-1}
zandige klei	10^{-4} – 1
zware klei	$< 10^{-4}$

Het vochthoudend vermogen van de grond is het vermogen om in de onverzadigde zone (dat is de zone boven de grondwaterspiegel) vocht vast te houden. Dit vocht is gedeeltelijk beschikbaar voor opname door planten en is van belang voor het maken van een goed groeimilieu voor beplanting (hoofdstuk 7). Humusarm leemarm zand heeft een gering vochthoudend vermogen; zavel en klei hebben daarentegen een groot vochthoudend vermogen.

2.3 De geologische opbouw van de ondergrond van Nederland

Nederland maakt met uitzondering van Zuid-Limburg deel uit van het dalingsbekken van de Noordzee. Zeeën en rivieren hebben dit steeds dalende bekken opgevuld met zand en klei. De delta van de Rijn en de Maas en oostelijke noordduitse rivieren is opgebouwd uit materialen die door de rivieren zijn aangevoerd en afgezet (fluviatiele afzettingen). De zee met zijn stromingen, golfwerking en getijdebeweging heeft deze afzettingen deels weer opgenomen en elders gedeponeerd. Ook de zee heeft hier materialen afgezet (mariene afzettingen).
Bovendien is het noordelijk deel van ons land door het landijs bewerkt en zijn er grondmorenen achtergebleven (glaciale afzettingen). Tenslotte heeft ook de wind de nodige veranderingen aangebracht; plaatselijk zijn afzettingen weggeblazen en elders weer neergezet (eolische afzettingen).

Deze geologische processen hebben een bepaalde opbouw van de ondergrond tot gevolg gehad. In het volgende zal deze opbouw kort worden beschreven. Daarbij zal de beschrijving beperkt blijven tot de bovenste 10 à 30 m; deze laag is van belang in verband met het bouwrijp maken.

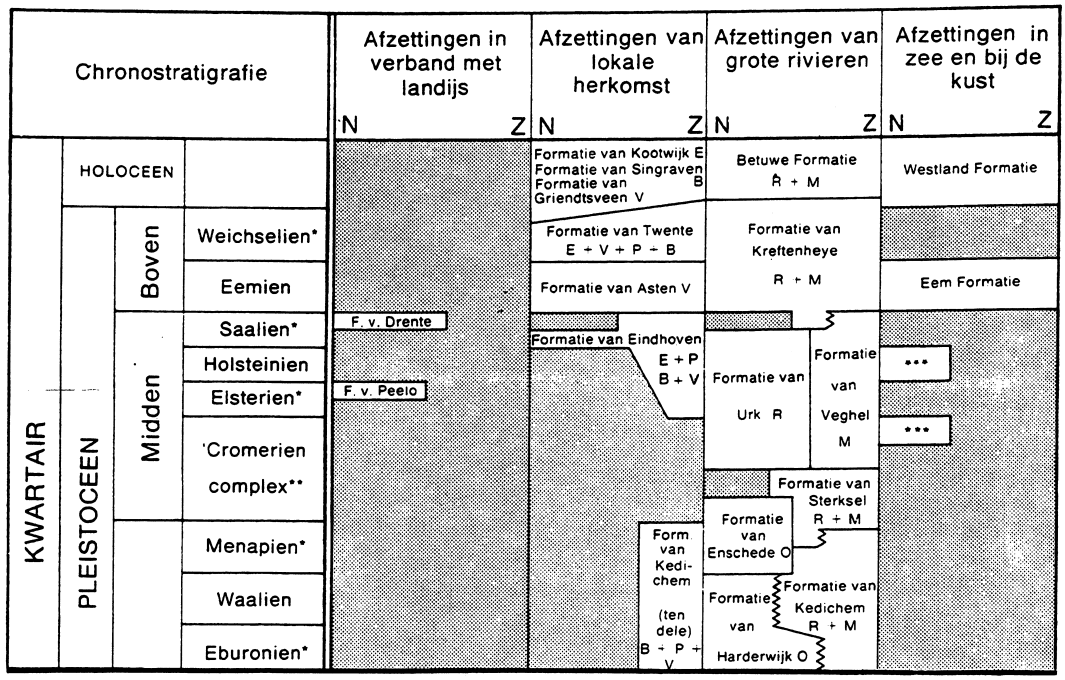
In verband met het bouwrijp maken is in het algemeen gesproken slechts het Kwartair van belang en dan nog voornamelijk vanaf het laatste deel van het Midden Pleistoceen (tabel 2.7). De onderzijde van het Pleistoceen ligt in vrijwel geheel Nederland ver beneden het tegenwoordige maaiveld. In Noord-Holland tot 600 m, oplopend tot dagzomend in het zuiden en oosten van Nederland. Het Kwartair onderscheidt zich van het Tertiair doordat er bij herhaling veel koudere omstandigheden heersten, de ijstijden (glacialen), welke afwisselden met warmere perioden (interglacialen). Aan het begin van het Pleistoceen was Nederland bijna geheel door een zee overdekt. Toen de zee zich geleidelijk terugtrok tengevolge van accumulatie van water in de ijskappen, en de Rijn, Maas en noordduitse rivieren via Nederland hun uitmonding in de zee kregen, werd er op de onderliggende zeeafzettingen een 200 tot 400 m dik pakket rivierzand afgezet (tabel 2.8; kolom: afzettingen van grote rivieren). Bij het dalen van de temperatuur tijdens een ijstijd was de hoeveelheid neerslag groter dan de hoeveelheid sneeuw die smolt en verdampte. De geaccumuleerde sneeuw werd door de druk van het eigen gewicht in ijs omgezet en ging naar lager gelegen gebieden vloeien. De accumulatie van sneeuw leidde tot een aanzienlijke daling van de zeespiegel (Saalien: −200 m) waardoor het verval van de rivieren sterk toenam en deze een groot eroderend en transporterend vermogen kregen.

Tabel 2.7. Indeling van het Kwartair

Tijdperk				jaren geleden voor heden
Holoceen		Subatlanticum		2.700 – heden
		Subboreaal		5.000 – 2.700
		Atlanticum		8.000 – 5.000
		Boreaal		8.700 – 8.000
		Preoboreaal		10.300 – 8.700
Pleistoceen	Boven	Weichselien	koude tijd	70.000 – 10.300
		Eemien		100.000 – 70.000
	Midden	Saalien	koude tijd	200.000 –
		Holsteinien		
		Elsterien	koude tijd	
		Cromerien	complexe eenheid	
	Onder	Menapien	koude tijd	600.000 –
		Waalien		
		Eburonien	koude tijd	
		Tiglien		
		Praetiglien	koude tijd	2.500.000 –

Het bewegende ijs had een sterk eroderende werking en vervoerde veel puin, het zogenaamde morene-materiaal. Daar waar het transporterende vermogen te gering werd, werd het materiaal afgezet. Bij het stijgen van de temperatuur ging smelten en verdampen de aanvoer van ijs overtreffen. Smeltwaterstromen veroorzaakten plaatselijk erosie en elders afzettingen (fluvio-glaciale afzettingen). Het landijs trok zich terug en de zeespiegel ging weer stijgen waardoor de erosieve kracht van de rivieren minder werd en het transporterend vermogen afnam. Het rivierbed werd praktisch geheel gevuld, eerst met grof, later met fijner materiaal.

Tabel 2.8. Tabel van de kwartaire formaties, gerangschikt naar ouderdom en genese [2-5].



E = eolische afzettingen
P = periglaciale afzettingen
B = beekafzettingen
V = veen

R = Rijn
M = Maas
O = oostelijke noordduitse rivieren en voorlopers

*koude tijd
**complexe eenheid bestaande uit tenminste 4 warme en 3 koude tijden
***nog onbenoemd, voorlopig bij Formatie van Urk

De beide laatste ijstijden (Saalien en Weichselien) zijn sterk bepalend geweest voor de aard en ligging van de zandgronden van Noord-, Oost-, Midden- en Zuid Nederland. Tijdens het Saalien is een groot deel van Nederland met landijs bedekt geweest. De maximale uitbreiding van het ijs reikte tot aan de lijn Vogelenzang-Nijmegen. Ten zuiden van deze lijn heerste een zeer droog, koud klimaat. De rivieren bleven hier zand afzetten (tabel 2.8) en verder werden sedimenten van lokale oorsprong door wind en smeltwater afgezet (fluvioperiglaciaal). Ten noorden van het ijsfront kan men aan of dichtbij het oppervlak grondmorenen of keileem aantreffen. (Formatie van Drente).
Het randgebied van het ijs bestond uit een aantal afzonderlijke ijstongen die de noordwaarts gerichte rivierdalen van Rijn en Maas binnendrongen. De bevroren ondergrond werd in sterke mate vervormd en er werden diepe depressies uitgeslepen (fig. 2.6, 2.7) terwijl aan de zijkanten en voorzijde heuvels werden opgestuwd. Deze stuwwallen zijn de Utrechtse Heuvelrug, de Oost-Veluwe stuwwal, de stuwwal bij Nijmegen en de stuwheuvels in Overijssel. Noordelijk hiervan zijn ook nog stuwwallen te onderscheiden ten gevolge van latere fasen van oprukkend ijs: de reeks Steenwijk-Gaasterland-Wieringen-Texel en een gedeeltelijk begraven reeks Vollenhove-Urk-Hoorn-Castricum.
Na het Saalien volgde een warmere periode, het Eemien. In de bekkens, waarin het ijs was gesmolten, ontstonden meren waarin klei werd afgezet. Bij een eerdere ijstijd was zo ook de Formatie van Peelo gevormd, die bestaat uit zeer compacte harde klei (potklei). Door erosie van de stuwwallen door wind en water vlakten de hoogteverschillen snel af. De rivieren vulden de diep uitgeslepen dalen met grove grindhoudende zanden (Formatie van Kreftenheye). De zeespiegel steeg zover dat grote delen van noord-west Nederland door water werden bedekt: de Eemzee. In deze periode zijn klei- en veenlagen gevormd.

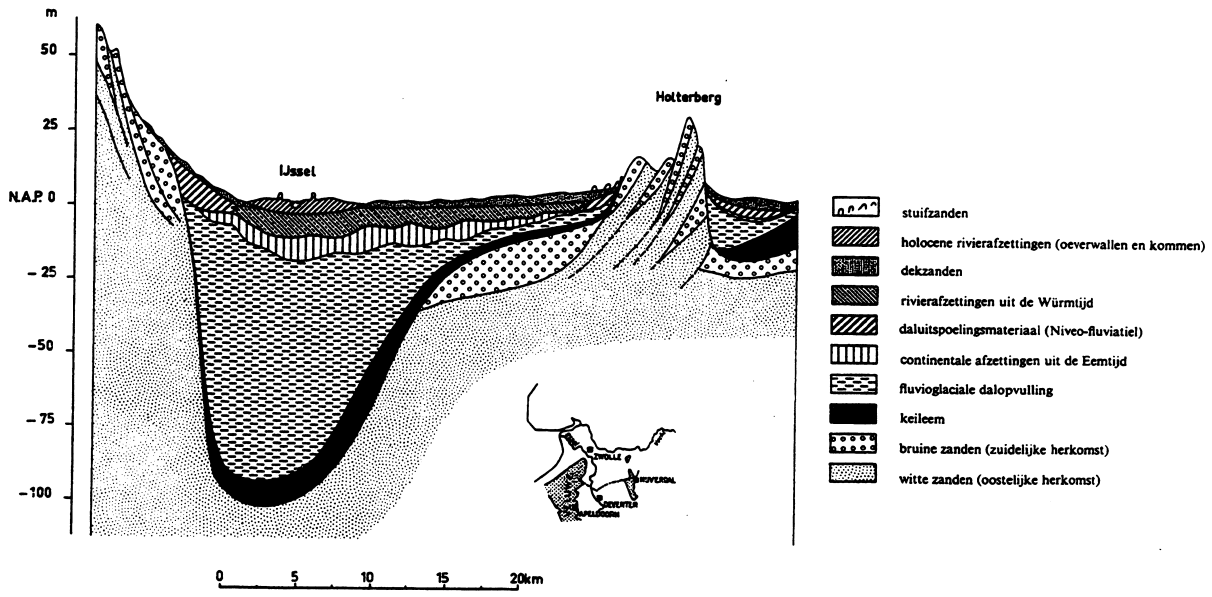


Fig. 2.6. Schematische dwarsdoorsnede door de Noord-Veluwe tot de Holterberg [2-6]

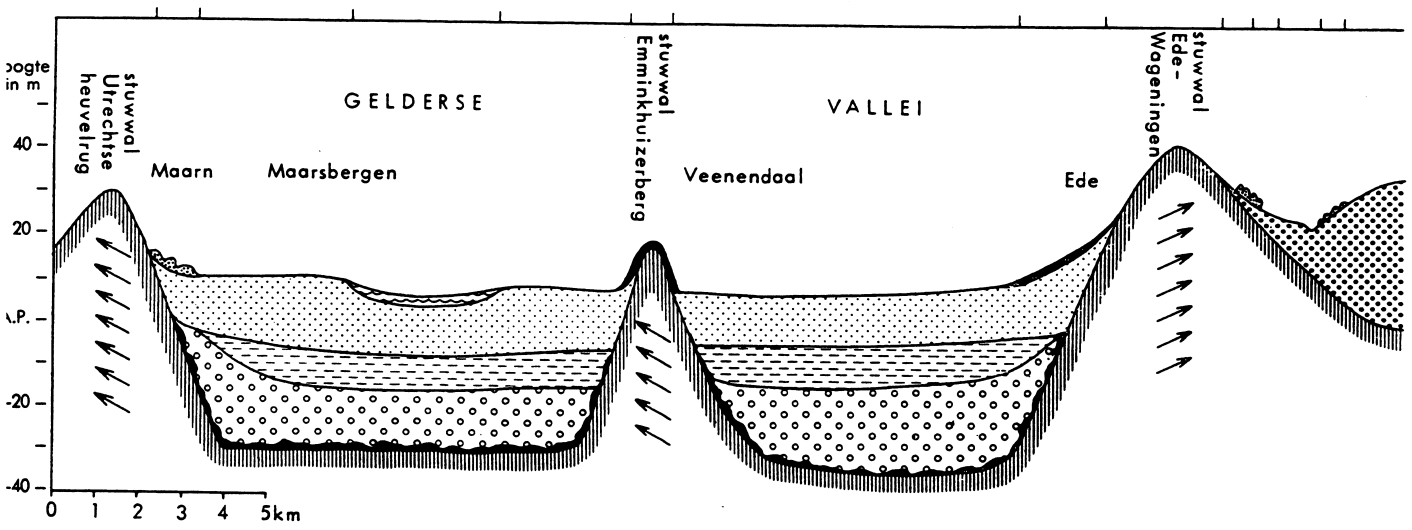


Fig. 2.7. Globale geologische doorsnede door het zuidelijk deel van de Gelderse Vallei en de aangrenzende stuwwallen [2-7]

Tijdens het Weichselien bereikte het landijs Nederland niet. Wel was door de lage temperatuur de bodem tot op grote diepte bevroren. Uit de droge rivierbeddingen en het droge Noordzeegebied werd zand weggeblazen en op betrekkelijk korte afstand weer afgezet als een vrij uniform zanddek van matig fijn zand: het dekzand (Formatie van Twente). De dikte van deze formatie varieert veelal van minder dan 1 m tot enkele meters. Met name in de depressies (diepten) werden dikke lagen afgezet, tot 25 m. Het resultaat was dat het land vlakker werd. Tot deze formatie behoren ook smeltwaterafzettingen bestaande uit grof zand. In het Weichselien zijn de Rijn en Maas doorgegaan met het afzetten van grove grindhoudende zanden. Bij het beëindigen van het Weichselien steeg de zeespiegel en ontdooide de bovengrond. In het huidige noorden en westen van Nederland was het landschap niet anders dan in het oosten en zuiden: een naar het noord-westen afhellend, zwak golvend, dekzandlandschap.

Het Holoceen kenmerkte zich doordat het geleidelijk warmer en vochtiger werd, waardoor de begroeiing toenam en de zeespiegel geleidelijk steeg door het smelten van het landijs. De invloed van de zee is in het Holoceen verder bepalend voor het afzettingsmilieu: de zee drong in vele kleinere en grotere vloeden ons land binnen. Daardoor werd de afwatering van de gebieden in het noorden en westen van Nederland zo zeer verslechterd dat moerassen ontstonden en zich een uitgestrekt veengebied ontwikkelde. In het oosten en zuiden van Nederland bleef deze veenontwikkeling beperkt tot de lagere delen. De verdere groei van dit veen-op-grote-diepte of Basisveen werd in de loop van het Atlanticum belemmerd door het verder stijgen van de zeespiegel. Op het veen werden door de zee lagen klei en zand afgezet; de Afzettingen van Calais. Deze wadafzettingen zijn ook bekend onder de naam oude zeeklei. Uit dezelfde periode dateren de Afzettingen van Gorkum, perimariene afzettingen bestaande uit zand en klei die door de rivieren zijn afgezet onder invloed van de stijgende zeespiegel. Meer naar het oosten ging de veengroei door. Het door de Afzettingen van Calais bedekte veen is sterk samengedrukt. Dit Basisveen ligt, aflopend naar het westen, op een grootste diepte van ongeveer 20 m ÷ N.A.P. en vormt een slecht doorlatende laag die plaatselijk, door erosie, is onderbroken (fig. 2.8).

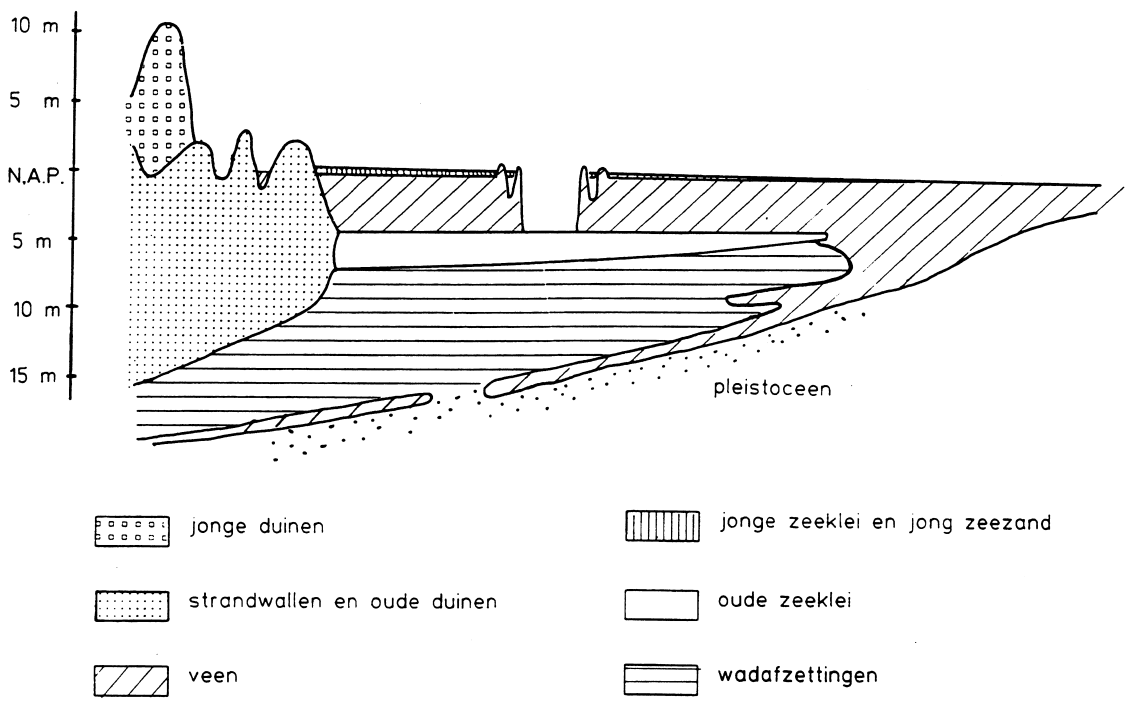


Fig. 2.8. Schematisch profiel door het Holoceen van West-Nederland

Tengevolge van de in het Atlanticum heersende westenwinden ontstond een naar de kust gerichte golfbeweging. Evenwijdig langs de kust ontstonden zandbanken – de strandwallen – waarop zich duinen ontwikkelden. In het gebied achter de duinen ontstond een zoetwatermoeras waarin opnieuw veenvorming plaats vond: het oppervlakteveen of Hollandveen. Ongeveer 4000 jaar geleden begon het veen zich uit te breiden over de Afzettingen van Calais. Dit Hollandveen bereikte een dikte van enkele meters. Periodieke overstromingen tastten het veen nu en dan plaatselijk aan. Deze aantastingen zijn terug te vinden in de vorm van ingeschakelde kleilagen. In het noorden zijn de strandwallen nooit gesloten geweest, daarom is daar weinig veen ontstaan.
Het subatlanticum is een periode geweest waarin transgressies van de zee weer overheersten. Veel veen werd weggeslagen (Flevomeer, Zeeland, delen van Zuid-Holland en

noord-Noord-Holland), terwijl verder grote delen van het veen bedekt werden met de mariene Afzettingen van Duinkerken of de perimariene Afzettingen van Tiel. Deze afzettingen worden ook wel jonge zeeklei genoemd. Waar het veen zo hoog lag dat het niet overstroomde, bleef de veengroei doorgaan, totdat deze gebieden omstreeks 1000 jaar na Chr. in cultuur werden genomen. Na het jaar 1200 na Chr. zijn op en voor de oude strandwallen de jonge duinen tot ontwikkeling gekomen. Deze West- en Noordnederlandse Holocene afzettingen vormen samen de zogenaamde Westland Formatie. De dikte van de Formatie varieert van minder dan 1 m tot bijna 50 m (fig. 2.9). De in het Holoceen gevormde rivierafzettingen worden Betuwe Formatie genoemd (fig. 2.9). Deze rivierafzettingen bestaan afwisselend uit klei en zand, met het incidenteel voorkomen van veen. Onderscheiden worden de Stroomgordelafzettingen, die voornamelijk uit zand en kleiig zand bestaan, en de Komafzettingen, die voornamelijk uit klei bestaan. De dikte varieert van minder dan 1 m tot meer dan 10 m.

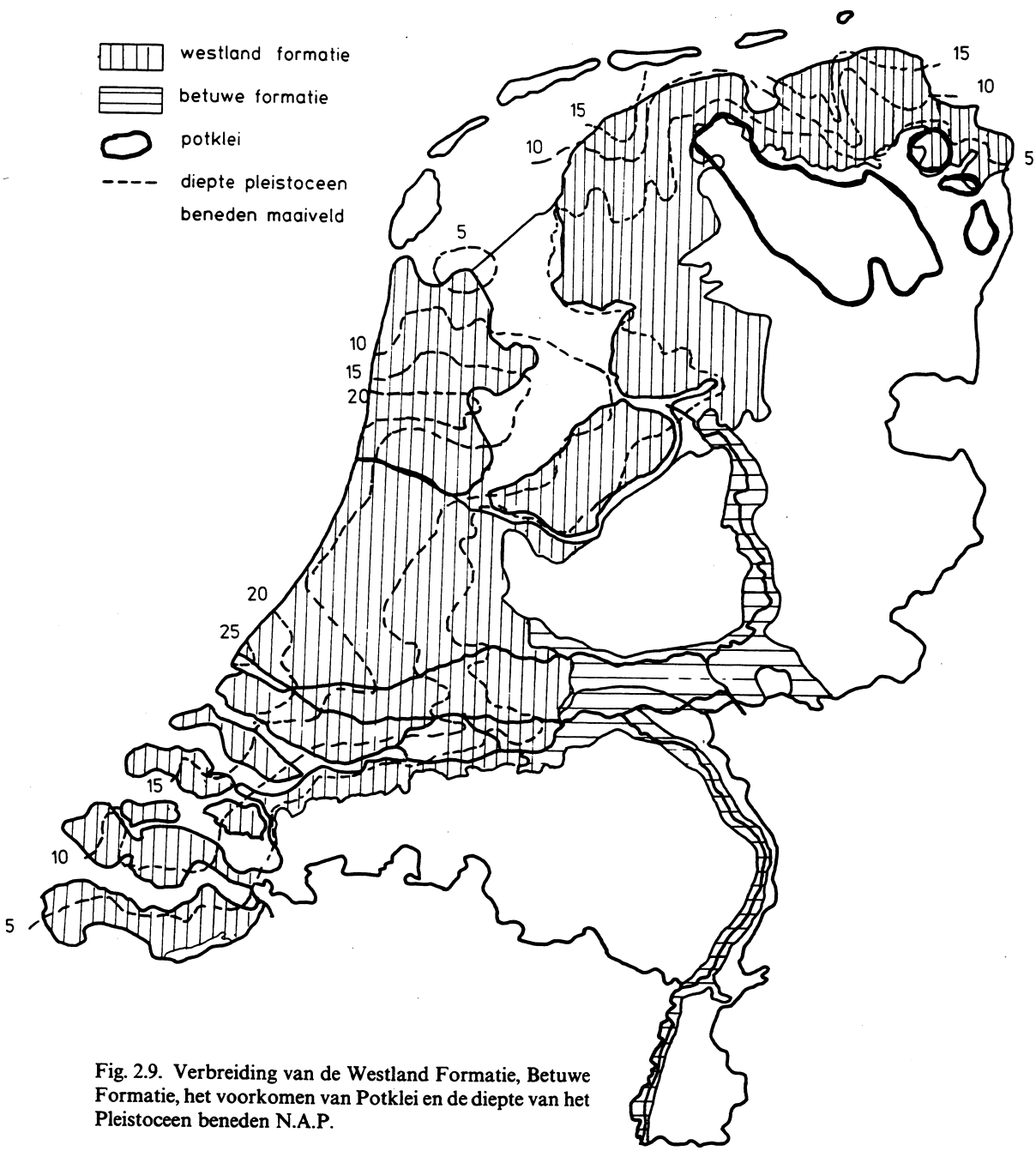


Fig. 2.9. Verbreiding van de Westland Formatie, Betuwe Formatie, het voorkomen van Potklei en de diepte van het Pleistoceen beneden N.A.P.

Op de dekzanden van Oost- en Zuid-Nederland zijn gedurende het Holoceen lokale zandverstuivingen ontstaan: de Formatie van Kootwijk. De verstuivingen bestaan overwegend uit matig fijn en zeer fijn zand. In de beekdalen en andere geïnundeerde laaggelegen gebieden zijn kleiig zand, zandige klei, klei en veen afgezet: de Formatie van Singraven. Deze zeer plaatselijk voorkomende afzettingen liggen voornamelijk op de Formatie van Twente en zijn van minder dan 1 m tot enige meters dik.

Naast het boven beschreven afzettingssysteem (geogenese) treden in de bovenste 1 à 2 m van de bodem veranderingen op onder invloed van het klimaat, de waterhuishouding, de flora en de fauna. Deze veranderingen worden als bodemvorming (pedogenese) aangeduid. Als gevolg van ophoging, verplaatsing en uitspoeling van zowel minerale als organische stoffen, ontstaat in de bovenste laag een gelaagdheid die oorspronkelijk ontbrak. Ook de mens is sinds zijn verschijning sterk bodemvormend bezig geweest.

2.4 Informatie

Gegevens met betrekking tot de bodemgesteldheid kunnen worden verkregen van bodemkaarten, geologische kaarten, archieven en projectgebonden onderzoek.
De geologische kaarten van de Rijks Geologische Dienst bieden veel informatie die van belang is in het kader van civiel-technische werken en het bouwrijp maken. De schaal is echter zodanig dat deze informatie slechts bruikbaar is voor studies over de situering van bouwlocaties op regionaal niveau (hoofdstuk 9).
De informatie van de kaarten zal daarbij dan ook nog moeten worden aangevuld met gegevens uit archieven van bijvoorbeeld de Rijks Geologische Dienst, het Rijks Instituut voor Drinkwatervoorziening, Rijkswaterstaat, de Landinrichtingsdienst. Ook kan uit deze globale gegevens een eerste indruk worden verkregen ten behoeve van verder veldonderzoek.
De bodemkaarten van de Stichting voor Bodemkartering geven eveneens de nodige informatie. Ook de schaal van deze bodemkaarten is zodanig dat de informatie slechts op regionaal niveau en voor een eerste verkenning bruikbaar is. Daarnaast geeft de bodemkaart informatie tot slechts 1,20 m beneden maaiveld. Ook hierbij kan aanvullende informatie worden verkregen, zoals bodemkaarten op een grotere schaal.

Informatie met betrekking tot de bodemgesteldheid op basis van kaarten, boorarchieven en voor het project uitgevoerd onderzoek, moet worden samengevoegd tot voor het bouwrijp maken praktisch bruikbare bodemeenheden (fig. 2.10). De differentiërende kenmerken van deze bodemeenheden – en dus de kaarteenheden – moeten worden afgeleid uit de eisen die de bestemmingen aan de bodem stellen.

Een aantal bestemmingen of aspecten van het bouwrijp maken zijn afhankelijk van de bovengrond, dat wil zeggen de laag van 0,25 à 1,00 m, liefst 2,00 m beneden maaiveld. Het betreft onder andere:
- de vochthoudendheid, in verband met de groenvoorzieningen;
- de begaanbaarheid, in verband met de berijdbaarheid en betreedbaarheid van het terrein;
- bij zandgronden de kwaliteit van het zand (humusgehalte, leemgehalte), in verband met de benodigde diepte van de cunetten;
- de doorlatendheid in verband met de mogelijkheid en wijze van draineren;
- het klei- en veengehalte in verband met het al of niet integraal ophogen van het bouwterrein.

Deze gegevens kunnen worden verwerkt in een bovengrondkaart. Vooral ook voor de zandgronden van Oost-, Midden- en Zuid-Nederland is een bovengrondkaart van belang [2-8].

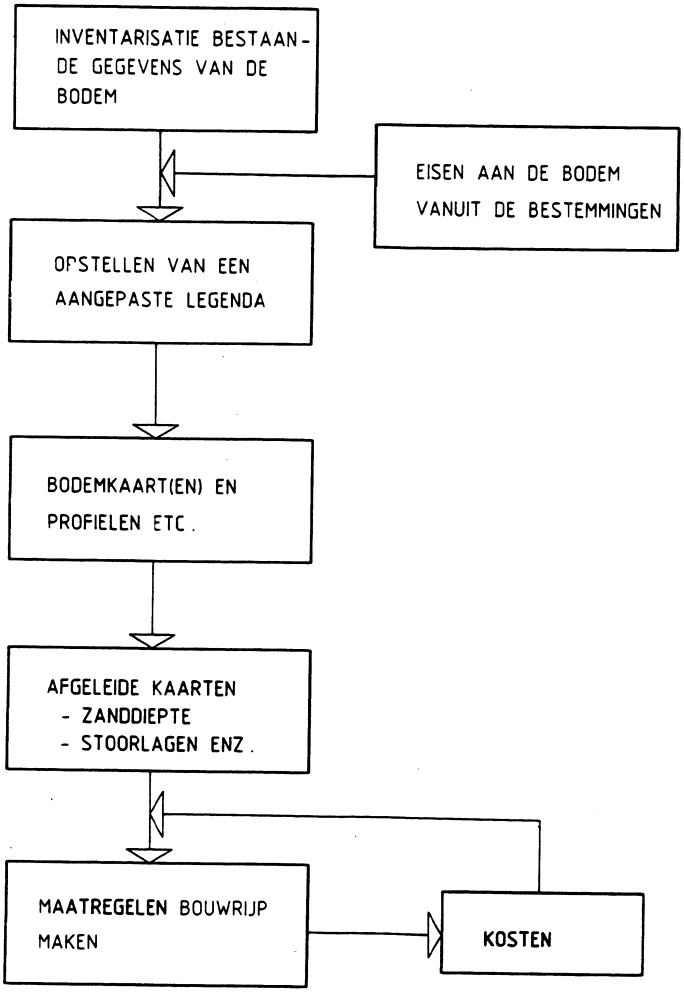


Fig. 2.10. Informatiestroom in verband met het bouwrijp maken

Voor andere bestemmingen of aspecten van het bouwrijp maken is de ondergrond van belang, dat wil zeggen de bovenste 2,0 à 15,0 m beneden maaiveld. Het betreft onder andere:

- de samendrukbaarheid, in verband met zetting tengevolge van op te brengen zand- of grondlagen, zandcunetten en dergelijke;
- de aanleg van werken, zoals kabels en leidingen en waterpartijen, in verband met de stabiliteit van sleuven of putten;
- de doorlatendheid, in verband met de drooglegging van het bouwterrein en het woongebied en de eventuele noodzaak van bronbemaling bij de aanleg van werken;
- de geohydrologische situatie, in verband met kwelproblemen in of buiten het te bebouwen gebied, het al of niet moeten toepassen van bronbemaling en de wijze waarop;
- de funderingsgrondslag, in verband met de constructie van de fundering zoals de vraag: funderen op staal of op palen en de paallengte;
- de kwaliteit van het zand (textuur), in verband met de beschikbaarheid van cunetzand of ophoogzand;
- het voorkomen van storende lagen in een op zich zelf goede zandondergrond; Dit kunnen samendrukbare lagen zijn of lagen met een lage doorlatendheid (schijngrondwaterstanden).

De bodemopbouw bepaalt tot welke diepte de ondergrond van belang is voor het bouwrijp maken. Dit kan variëren van enkele meters bij goede zandgronden tot enkele tientallen meters bij slappe klei- en veenlagen.

2.5 De bodem en methoden van bouwrijp maken

In de vorige paragrafen is de Nederlandse bodem in hoofdlijnen besproken. Voor een aantal typerende profielen wordt hierna de relatie tussen de bodemgesteldheid en het bouwrijp maken aangegeven. Hierbij wordt geen eenduidig, alles omvattend classificatiesysteem beschreven. Gezien de grote variatie in omstandigheden en in gehanteerde kwaliteitseisen kan alleen aan de hand van deze profielen de verschillende voorkomende relaties worden beschreven. Bij elk project zal aan de hand van onderzoek naar de bodem, de waterhuishouding, het landschap, de natuur en de kosten een ontwerp voor het bouwrijp maken moeten worden gemaakt. De methoden van bouwrijp maken worden slechts globaal beschreven; Er wordt niet ingegaan op de redenen van een bepaalde keuze. Deze worden in volgende hoofdstukken gedetailleerd uitgewerkt.

2.5.1 Het rivierengebied

Het rivierkleigebied in Nederland is weergegeven in fig. 2.11. Het omvat afzettingen opgebouwd door de grote rivieren (Betuwe Formatie) en de zogenaamde perimariene afzettingen (Afzettingen van Gorkum en Tiel).

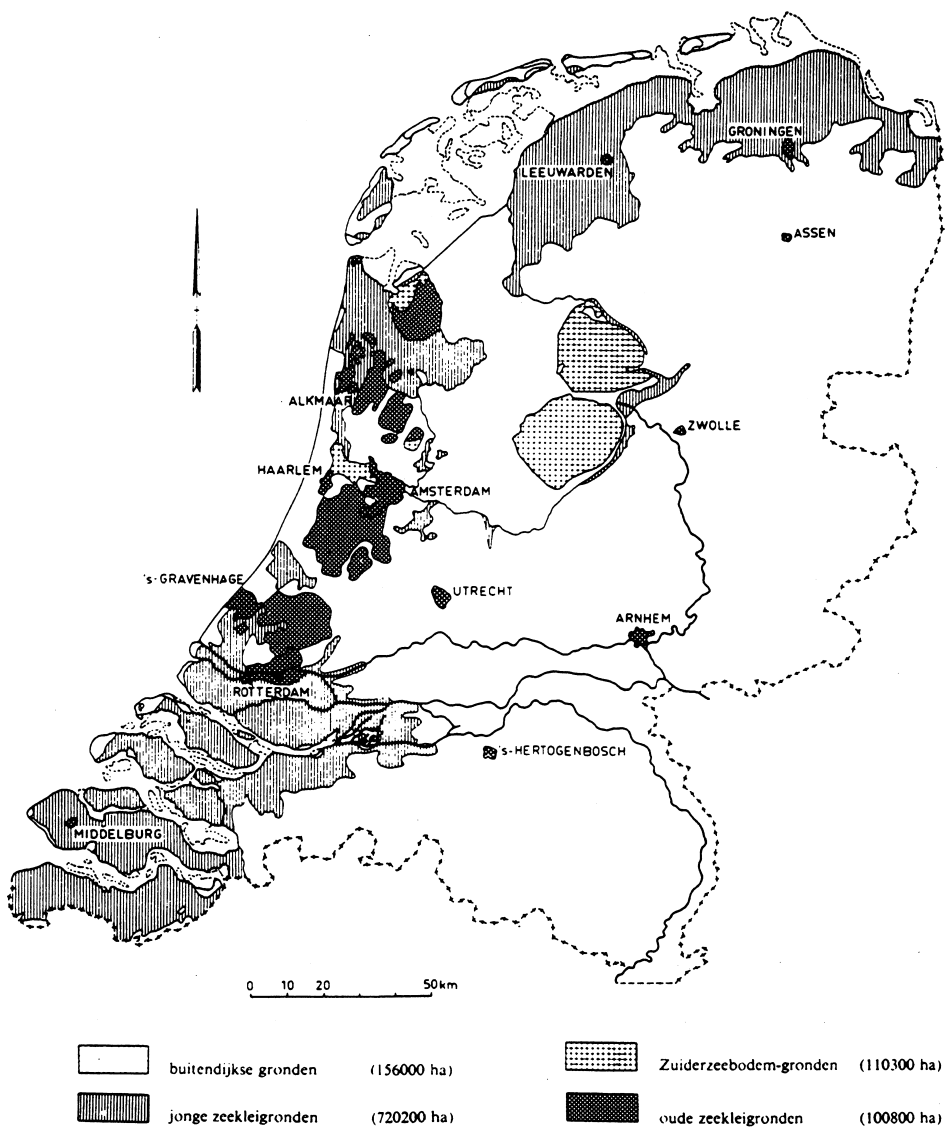


Fig. 2.11. Het rivierkleigebied [2-9]

Door het opdringende landijs gedurende het Saalien werden de Rijn en de Maas gedwongen hun loop naar het westen te verleggen. Gedurende het Weichselien werd in het gebied van de grote rivieren een dik pakket grove rivierzanden afgezet (Afzetting van Kreftenheye). Bij het smelten van sneeuw en ijs werd veel water en ook veel sediment afgevoerd. De rivierbeddingen werden snel opgevuld. In een breed dal ontstond een zogenaamde verwilderde of vlechtende rivier. In droge tijden kon gemakkelijk op grote schaal wind-erosie optreden, hetgeen elders tot afzettingen leidde. Naarmate het klimaat in het laat-glaciaal verbeterde, de zeespiegel rees en het vegetatiedek dichter werd, voerden de rivieren minder sedimenten af waarbij ze zich met enkele hoofdgeulen in hun afzettingen begonnen in te snijden. Bij overstromingen werd op de grove zanden geleidelijk een dunne kleilaag gesedimenteerd (fig. 2.12). Deze naar boven toe geleidelijk zwaarder wordende afzetting ligt ten westen van Nijmegen aan de oppervlakte.

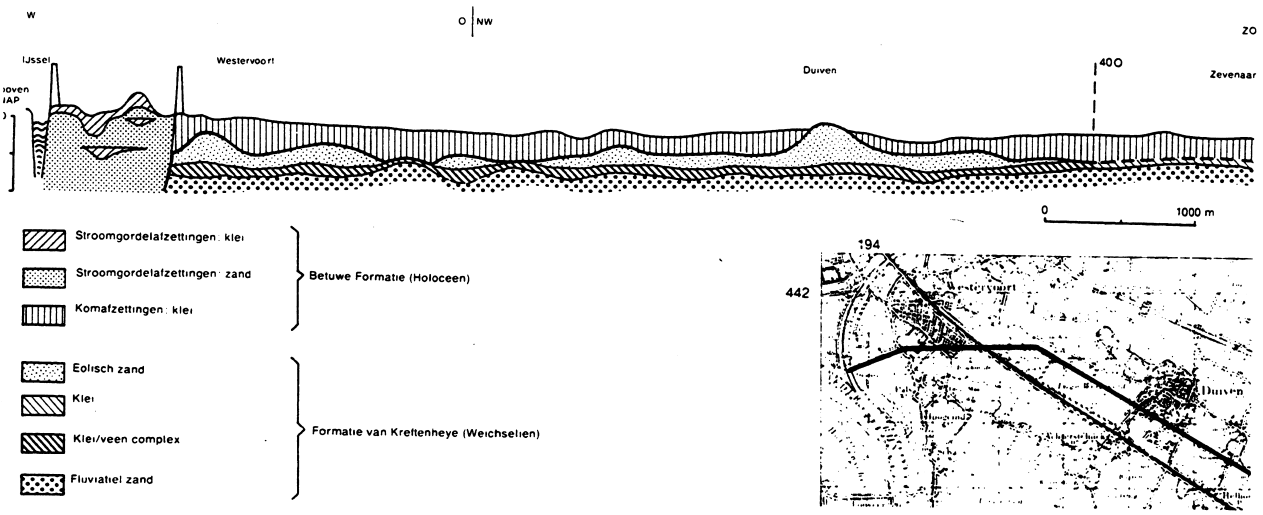


Fig. 2.12. Profiel door het komgebied van de westelijke Liemers [2-10]

Het rivierengebied was aan het begin van het Holoceen een golvend zandlandschap. In de komvormige terreingedeelten ontstond veen en werd klei gesedimenteerd. Omstreeks de overgang van het Atlanticum naar het Subboreaal was de zeespiegel zo hoog gestegen dat de rivieren het karakter kregen van een benedenloop; er werd veel kleiig materiaal afgezet. Tijdens het Subboreaal was het sedimentatiegebied zeer breed en was er weinig differentiatie in de sedimenten. In het Laat-Subboreaal trad een duidelijke differentiatie op in oeverwallen en kommen. Langs de oevers werden ruggen van zandige klei gevormd, de zogenaamde oeverwallen; op grotere afstand ontstonden in de lagere gebieden dekken van zeer zware klei, de komgronden. Tussentijds, bij verminderde aanvoer van klei-materiaal, kon in de komvormige terreingedeelten weer veenvorming plaatsvinden of ontstonden venige komkleien, die tot de zwaarste afzettingen behoren.
Door verlegging van bochten van de meanderende rivieren komen ook oeverwallen op de vroeger gevormde komklei voor (stroom-op-komgrond). Omgekeerd konden zo ook kom-op-stroomruggronden ontstaan.

Arnhem Zuid-Rijkerwoerd/Overmaat
De nieuwbouwwijken in Arnhem-Zuid zijn in zo'n rivierengebied gelegen. Het terrein helt van ongeveer 9,00 m + N.A.P. in het noorden tot ongeveer 8,00 m + N.A.P. in het zuiden (fig. 2.13). De gronden zijn ontstaan onder invloed van de Rijn. In de diepere ondergrond komt meestal goed doorlatend grof zand en grind voor. Hierop ligt een kleipakket variërend in dikte van ruim 4 m in het noordelijke deel tot minder dan 1 m in het zuidelijk deel van het gebied. Als gevolg van de ligging in het gebied van een

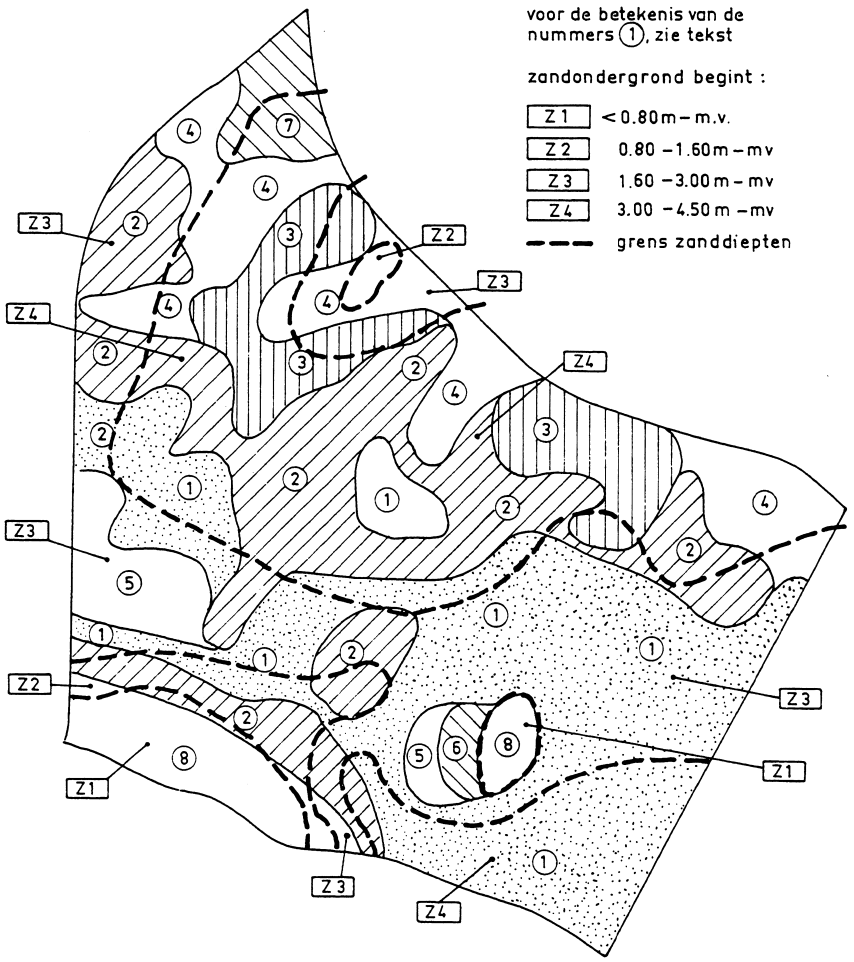


Fig. 2.13. Bodemkaart en zandgrondkaart Arnhem-Rijkerwoerd en Overmaat [2-11]

meanderende rivier en de daarbij behorende afzettingsmechanismen zijn op het zandpakket zowel lichte als zware kleigronden afgezet (fig. 2.13). De op de kaart onderscheiden bodemeenheden zijn [2-11]:

1) dikke komgrond; tot 1,60 m ÷ mv zware klei;
2) matig dikke stroomruggrond op komgrond; tot 0,80 m ÷ mv zware zavel tot lichte klei, van 0,80 tot 1,60 m ÷ mv matig zware tot zeer zware klei;
3) dikke stroomruggrond op komgrond; tot 1,20 m ÷ mv zware zavel tot lichte klei; tot 1,60 m ÷ mv matig zware tot zeer zware klei;
4) dikke stroomruggrond; tot 1,60 m ÷ mv zware zavel tot lichte klei;
5) dikke komgrond op stroomruggrond; tot 1,20 m ÷ mv matig zware zavel tot zeer zware klei; tot 1,60 m ÷ mv zware zavel tot lichte klei;
6) matig dikke komgrond op zand; tot 0,80 m ÷ mv matig zware zavel tot zeer zware klei; daaronder zand;
7) lichte stroomruggrond; tot 1,60 m ÷ mv zand tot kleiig zand;
8) dikke zandgrond; tot 1,60 m ÷ mv zand.

Vergeleken zijn de alternatieve methoden van bouwrijp maken:
1) integrale ophoging, 2) cunettenmethode en 3) selectief ophogen (voor de begrippen: hoofdstuk 4).
Bij de cunettenmethode dienen onder de verharding de cunetten te worden gevuld met

0,50 à 0,70 m zand. Het gebied moet intensief worden gedraineerd in verband met de geringe doorlatendheid van de grond: bodemeenheden 1, 2 en 3 met een drainafstand van 8 m, bodemeenheden 4 en 5 met een drainafstand van 12 m en bodemeenheden 6, 7 en 8 met een drainafstand van 20 m. Besloten is het gebied met 1 m zand op te spuiten; hierbij treden kleine zettingen op van 0,05–0,15 m. Langs het regenwaterriool ligt, ongeveer 1,20 m diep, een drain. Aangezien dit onvoldoende is adviseert de gemeente de bouwers zelf extra ontwateringsmaatregelen te treffen.
De ontwateringsdiepte (maaiveld – peil singels) bedraagt 1,50 m. Er is een behoorlijke kwel ten gevolge van de Rijn. In een andere, qua bodem vergelijkbare wijk is achteraf drainage rond de bouwblokken aangebracht.

's-Hertogenbosch-Maaspoort
Dit rivierkleigebied helt van 3,00 à 3,50 m + N.A.P. bij de Maas naar 2,20 à 2,50 m + N.A.P. in het zuiden. De gronden zijn zware komkleigronden, in dikte variërend van 2 tot 4 m (fig. 2.14). Aan de onderzijde is deze klei plaatselijk zandig of venig of komen er plaatselijk veenlaagjes voor. Het zand onder de kleilaag is fijn tot middelfijn. De stijghoogte van het grondwater in het zand onder de kleilaag is direct afhankelijk van het Maaspeil. Het Maaspeil bedraagt gemiddeld 1 m + N.A.P. maar kan 's winters tot 4,50 m + N.A.P. stijgen. Het peil in het open water in het gebied is 2,20 m + N.A.P., met

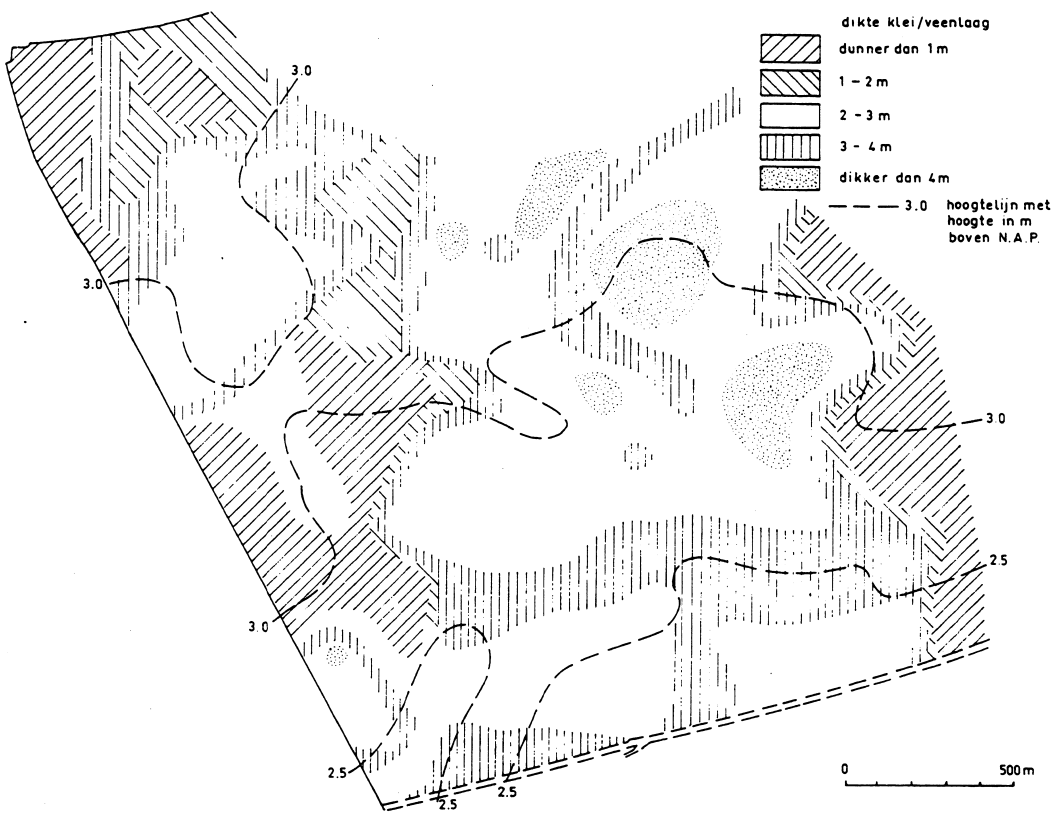


Fig. 2.14. Dikte van het kleiveenpakket in de Maaspoort, 's-Hertogenbosch [2-12]

vrije afvoer op een watergang buiten het gebied met een peil van 1,80 m + N.A.P. Als alternatieve methoden van bouwrijp maken zijn vergeleken:
1) de cunettenmethode met een polderpeilverlaging tot 1,80 m + N.A.P.,
2) integraal ophogen.
Besloten is het gebied met 1,50 m zand op te spuiten. Daarbij treedt een zetting op van 0,05–0,35 m. De polderpeilverlaging is in verband met kwel vanuit de rivier niet gewenst. De kleilaag is ook zeer ondoorlatend. Langs het regenwaterriool ligt op ongeveer 1,50 à 2,50 m diepte een drain. Op plaatsen waar de afstand tussen de wegen te groot wordt, wordt een drain bijgelegd. Het funderingsniveau ligt tussen 6,00 en 12,50 m – N.A.P.

Zwolle-Zuid
De hoogteligging van het rivierkleigebied varieert van 0,50 m tot 2,50 m + N.A.P. Het landschap is in aanleg bepaald door het ijs. Voor het Saalien voerden Rijn en Maas grof zand en grind aan. Het landijs drong via de rivieren het gebied binnen, waarbij het grove zand zijdelings werd opgestuwd. Keileem werd onder het ijs afgezet en bevindt zich tussen 5,00 en 10,00 m ÷ N.A.P. Een stuwwal is in de ondergrond van Zwolle te vinden. De rivier stroomde langs de oostrand van de stuwwal. Toen het smeltwaterdal van de IJssel nagenoeg droog stond, zijn dekzanden onder invloed van de wind afgezet. Deze dekzanden komen in het plangebied aan de oppervlakte. De IJssel kreeg gedurende het begin van het Holoceen haar tegenwoordige loop. Tijdens het Holoceen was veenvorming mogelijk.
Door de stijging van de zeespiegel drong de zee het land in en werden grote delen van het veen weggeslagen en klei en zand gesedimenteerd. Ook werd rivierklei op veen afgezet. Zand met een sterk wisselend lutumgehalte werd afgezet op oeverwallen (fig. 2.15).

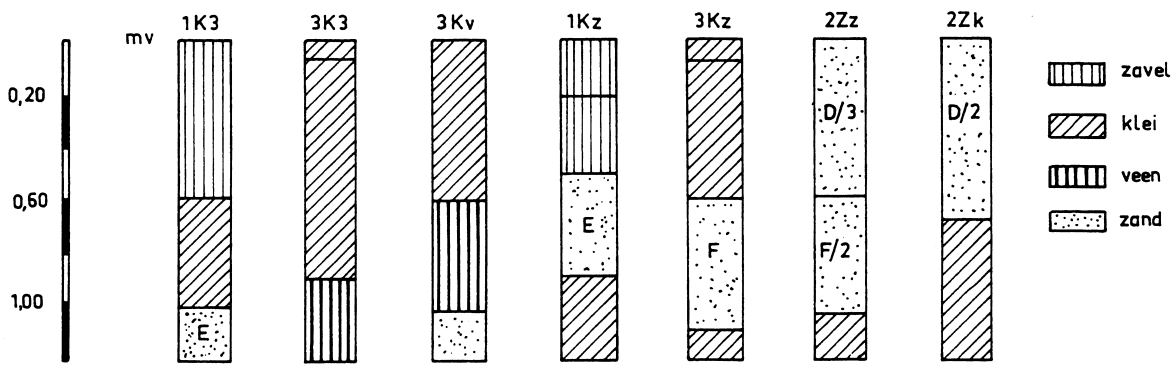


Fig. 2.15. Profielen Zwolle-Zuid [2-13]

De volgende bodemeenheden zijn te onderscheiden [2-13]:
1) Dikke kleigronden; gronden die tenminste 0,80 m ÷ mv uit klei bestaan (eenheden 1-K-3, 2-K-3, 3-K-3).
2) Kleigronden op veen; een kleilaag die dunner is dan 0,80 m op een veenlaag (3-K-v).
3) Kleigronden op zand. In deze eenheid worden onderscheiden:
   1-K-z, lichte zavel binnen 0,80 m op zand
   2-K-z, zware zavel binnen 0,80 m op zand
   3-K-z, lichte of zware klei binnen 0,80 m op zand; zeer plaatselijk veen of kleilaag in ondergrond.
4) Zandgronden; gronden die tenminste tot 0,60 m ÷ mv uit zand bestaan.
   Onderscheiden worden:
   1-Z-z, leemarm of zwak lemig zand
   2-Z-z, zwak of sterk lemig zand; regelmatig komt een zware kleilaag voor
   2-Z-z, zwak of sterk zand op zware klei beginnend tussen 0,60 en 0,80 m ÷ mv.

Deze 10 bodemeenheden zijn gegroepeerd in 4 eenheden die ieder een andere methode voor het bouwrijp maken hebben:

groep I. Zandgronden (8,5 ha) (1-Z-z).
Wegcunetten: 0,30 m bovengrond verwijderen, het cunetzand uit de te graven waterlopen halen.

groep II. Zandgronden en lichte-klei-op-zandgronden (99 ha) (2-Z-z, 2-Z-k, 1-K-z).
Wegcunetten: 1,00 m onder de bovenkant van de verharding, cunetzand elders winnen.

groep III. Lichte tot zware klei en zware zavelgronden (218 ha) (3-K-v, 1-K-3, 2-K-3, 3-K-3, 2-K-z, 3-K-z).
Als groep II; rioolsleuven geheel vullen met zand, intensieve drainage voor de bouwfase, na woningbouw opnieuw drainage aanbrengen.

groep IV. Klei-op-veengronden (59 ha) (3-K-v).
Ophogen met 0,50 m zand, oude maaiveld woelen, 0,20 m zetting ten gevolge van ophoging.

Houten

De hoogteligging van het rivierengebied waarin Houten is gelegen varieert van 1,00 m tot 2,50 m + N.A.P. Het gebied, gelegen tussen de Kromme Rijn en het Amsterdam-Rijnkanaal, bestaat overwegend uit stroomgronden. In hoofdlijnen betreft het drie oost-west lopende rivieren die tijdens het Holoceen in het gebied aanwezig waren. Tijdens het Holoceen trad over grote uitgestrektheid ook veenvorming op. Deze veenlagen zijn doorsneden door het riviersysteem. Onder de veenlagen komt pleistoceen zand voor (fig. 2.16) [2-14]. Vooral de geo-hydrologische situatie is van belang voor het bouwrijp maken. Door grondwaterstroming van oost naar west kan in natte perioden de stijghoogte van het diepe grondwater in een deel van het plangebied tot aan of boven het maaiveld reiken.

De bodemkaart gecombineerd met de kaart met isohypsen van het diepe grondwater en de hoogte-ligging van het maaiveld, geeft een viertal te onderscheiden gebieden:

groep A. Lichte klei- of zavel-kreekgronden met een goede ontwatering. Er behoeven geen of amper ontwateringsmiddelen te worden aangebracht. Cunetten moeten worden aangelegd onder de verharding.

groep B. Lichte klei- of zavel-kreekgronden met een hoge grondwaterstand. Cunetten moeten worden aangelegd onder de verharding. Drooglegging moet worden gerealiseerd met een drainagesysteem in de wegen en groenstroken.

groep C. Zware klei-op-zavel of op zand met een hoge grondwaterstand. Het gebied wordt integraal opgehoogd met 1,00 m zand waarin een drainagesysteem wordt aangebracht.

groep D. Zware klei-op-veen met een hoge grondwaterstand. Het gebied wordt integraal opgehoogd met zand waarin een drainagesysteem wordt aangebracht.

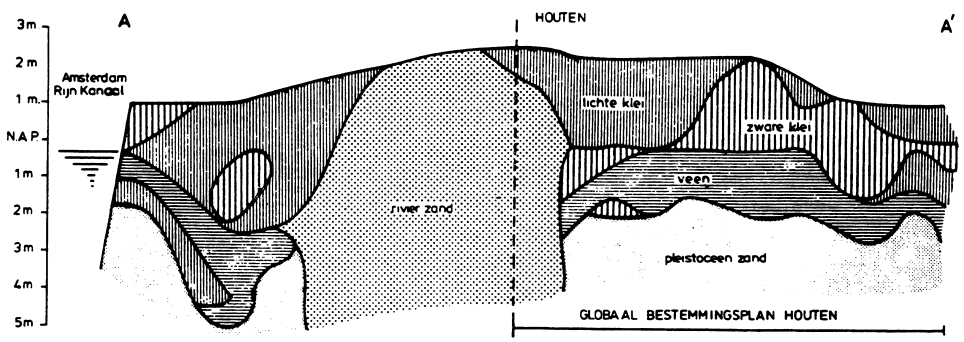


Fig. 2.16. Globaal geologisch profiel Kromme Rijn-gebied [2-14]

2.5.2 De zandgronden

Het zwak golvend zandlandschap in het zuiden, midden en oosten van Nederland is voornamelijk gevormd tijdens het laatste deel van het Pleistoceen (fig. 2.17). Vóór het Saalien hadden de rivieren in Nederland een dik pakket zand en klei afgezet. Tijdens het Saalien is het noordelijk deel van Nederland met landijs bedekt geweest. In het noorden (Drente) heeft ten gevolge van het landijs geen opstuwing plaatsgevonden; het plateaukarakter van het gebied bleef goeddeels behouden. Onder het landijs werd grondmorene of keileem afgezet. Meer naar het zuiden drongen de uit het noorden komende ijsmassa's de rivierdalen binnen, onder andere in de Gelderse Vallei en het IJsseldal. De aanwezige grove zanden zijn door het ijs uit hun oorspronkelijk horizontale ligging opgestuwd (fig. 2.6 en 2.7).

Door het afsmelten van het landijs stroomde het smeltwater voor een deel over de stuwwallen heen en vormde langs de randen de zogenaamde fluvioglaciale afzettingen,

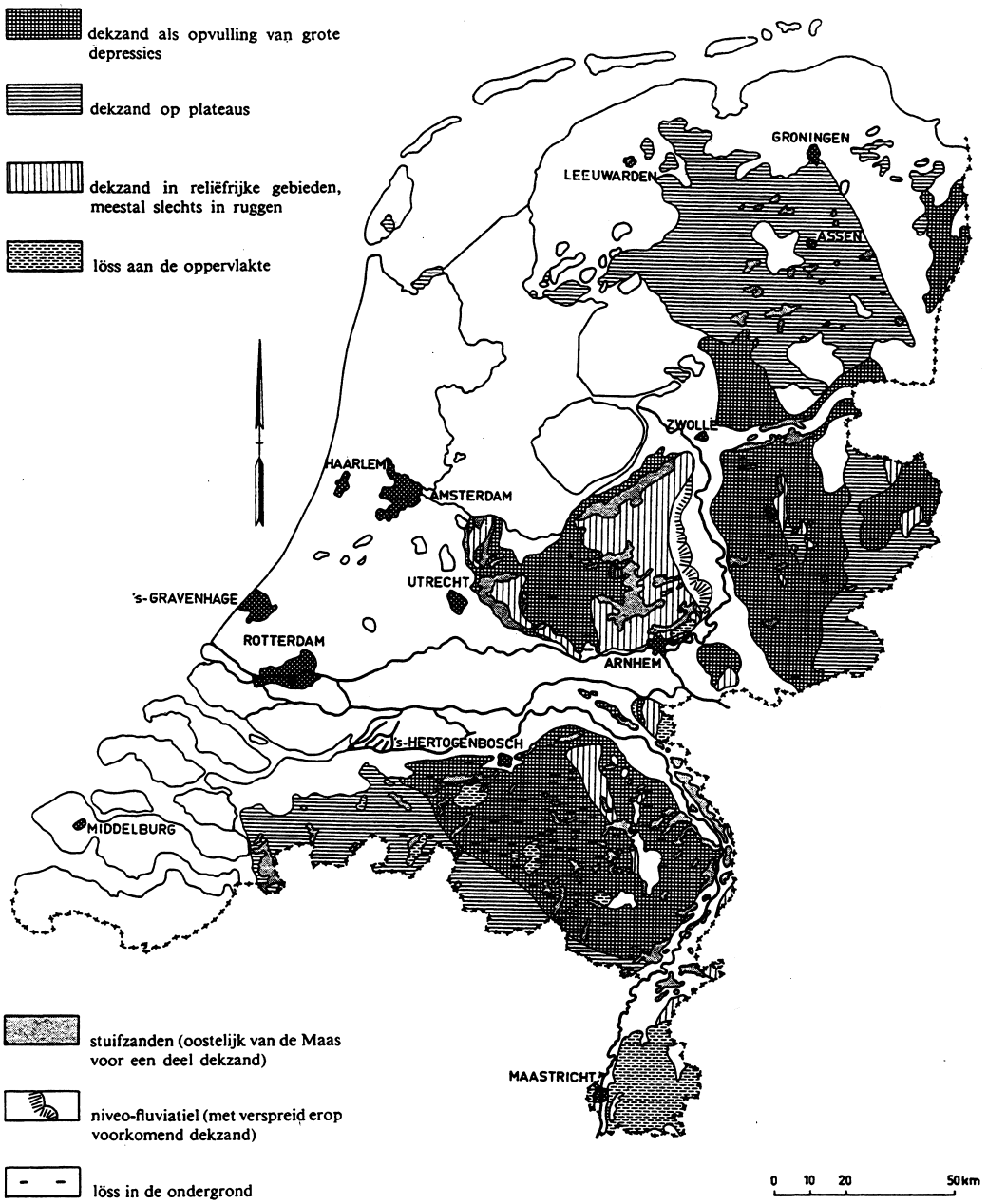


Fig. 2.17. De zandgronden in Nederland [2-9]

overwegend grof zand en grind in een grillig patroon. Ten zuiden van het ijsfront bleven de rivieren zand afzetten. Dit landschap is door het dekzand bedekt. Het dekzand (Formatie van Twente) bestaat uit een dunne bedekking (één tot enkele meters) fijn tot matig fijn zand. De ontstaanswijze hangt samen met de zeer koude omstandigheden tijdens het Weichselien. Nederland werd toen niet door het landijs bedekt. Door westenwinden werden grote massa's zand vanuit de droogliggende Noordzee en brede rivierdalen in oostelijke richting getransporteerd en afgezet (fig. 2.18). Door het dekzandlandschap lopen vrij grote beekdalen. De breedte van de dalen is niet in overeenstemming met de omvang van de huidige beekjes. Ze zijn gevormd ten gevolge van de afvoer van grote massa's smeltwater. In de beekdalen en andere laag gelegen gebieden is later de Formatie van Singraven afgezet ten gevolge van overstromingen uit de beekjes en riviertjes. De Formatie bestaat uit kleiig zand, zandige klei en veen. Op het dekzand komen ook recentere afzettingen voor, de Formatie van Kootwijk, die ten gevolge van lokale zandverstuivingen zijn ontstaan.

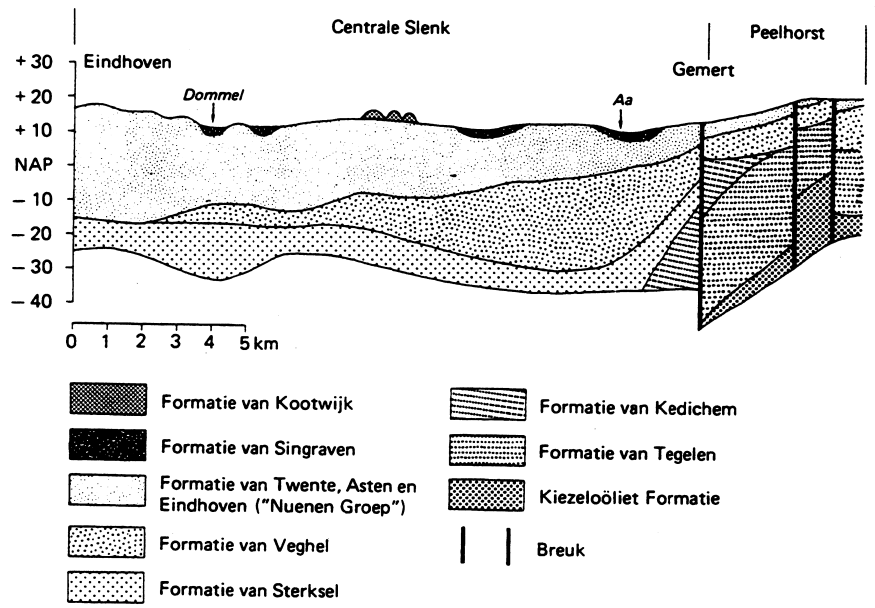


Fig. 2.18. Globale geologische doorsnede door oostelijk Noord-Brabant [2-15]

Assen-Peelo

De in het Saalien gevormde keileem komt onder dit gehele dekzand gebied voor. Het gebied is bedekt met een laag dekzand van 0,50 tot 2,00 m (fig. 2.19). De keileem zorgt plaatselijk voor een grondwaterstand tot in het maaiveld. Het gebied wordt bouwrijp gemaakt door middel van de aanleg van wegcunetten welke gevuld worden met 1 m dekzand. Daar waar de cunetten tot in de keileem komen, wordt het cunet gedraineerd. Plaatselijk voorkomend veen wordt ter plaatse van het wegcunet geheel weggegraven. Zo'n veenlaag kan in het pleistocene zandgebied tot 2 à 3 m dik zijn. Indien niet voldaan wordt aan de vereiste ontwateringsdiepte van 1,40 m beneden maaiveld, dan wordt het terrein opgehoogd met materiaal vanuit het gebied. Daar waar de keileem aanwezig is moet intensief worden gedraineerd door de woningbouwer. Hiervoor worden door de gemeente aansluitmogelijkheden gegeven op het regenwaterriool van het gescheiden rioleringsstelsel. De bouwers voeren deze werkzaamheden niet altijd uit. Daar waar de keileem diep zit moeten de vijvers van een bodemafsluiting worden voorzien om er water in te houden. De fundering is gedeeltelijk op staal, gedeeltelijk op een bodemverbetering of op korte palen tot op het zand onder de keileem. De potklei heeft geen invloed op de funderingsmogelijkheden.

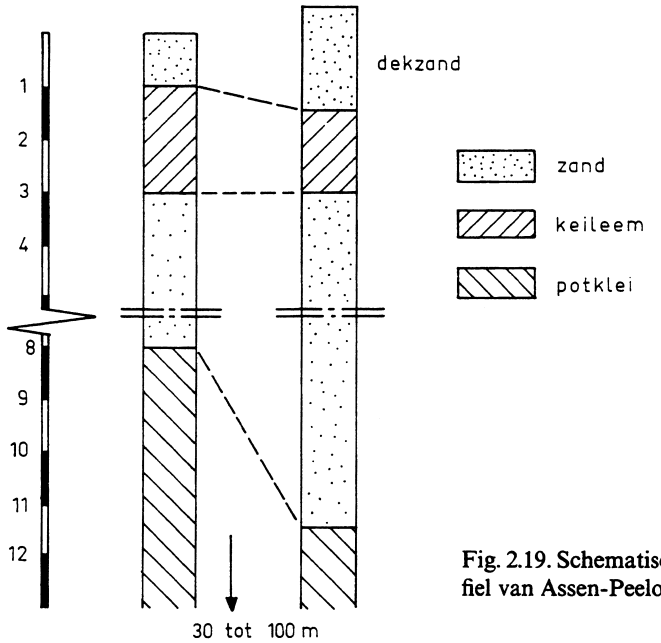


Fig. 2.19. Schematisch bodemprofiel van Assen-Peelo

Almelo-Het Windmolenbroek

Het grondgebied van Almelo helt van 12,00 m + N.A.P. in het oosten naar ongeveer 10,00 m + N.A.P. in het westen. Het Windmolenbroek is een tamelijk vlak en laaggelegen gebied dat begrensd wordt door het Twentekanaal. Het peil in het Twentekanaal is 10,00 m + N.A.P. terwijl het maaiveld van Het Windmolenbroek op 9,00 tot 10,00 m + N.A.P. is gelegen (fig. 2.20). Ten gevolge van kwel uit het kanaal zijn de wintergrondwaterstanden gemiddeld 0,55 m beneden het maaiveld; de zomergrondwaterstand ongeveer 1,00 m. De bodem bestaat tot ongeveer 4,00 m beneden maaiveld uit matig fijn zand. Plaatselijk is veen met een dikte van 1,00 à 2,50 m aangetroffen, gevormd in

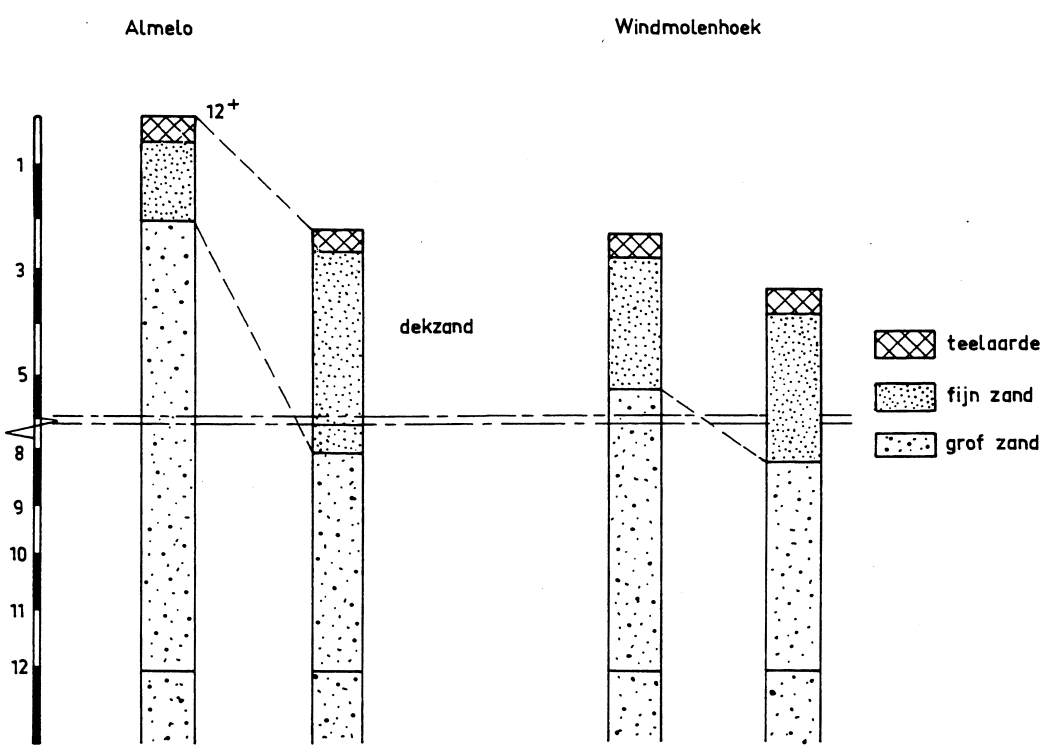


Fig. 2.20. Schematisch bodemprofiel van Almelo en Het Windmolenbroek

vroegere afvoerloze laagten. Ook kleilenzen van geringe dikte, ter plaatse van voormalige beekjes, komen voor.
Als alternatieve methoden van bouwrijp maken zijn bestudeerd:
- een terreinophoging tot 10,25 m + N.A.P.
- verlaging van het slootpeil door bemaling van het gebied.

Berekend is dat de meerkosten van bemaling en het daarbij benodigde oppervlakte open water hoger zijn dan een ophoging van het terrein met ongeveer 0,50 m. Belangrijke hoeveelheden zand en grond zijn aangevoerd van buiten het plangebied. Zand voor de wegcunetten is uit een zandwinpunt gezogen en in depôt gespoten. Ter plaatse van plantsoenen is de grond 0,60 à 0,70 m machinaal omgespit. In het algemeen wordt op staal gefundeerd.

Ede-Veldhuizen-Klaphek
De ondergrond van de wijk Veldhuizen-Klaphek in Ede bestaat tot op grote diepte uit matig fijn zand met op ongeveer 4,00 à 6,00 m en op ongeveer 12,00 m beneden het maaiveld slecht doorlatende lagen, die uit leem of venig materiaal bestaan (fig. 2.7). Het zand op grotere diepte is grof. Het gebied heeft een 0,30 à 1,00 m dikke humeuze bovenlaag. Doordat het gebied tussen twee stuwwallen is gelegen staat in natte perioden de grondwaterstand tot in het maaiveld. Door de afsluitende lagen is er weinig kwel vanaf de hooggelegen stuwwal. Wateroverlast ontstaat door toestroming van water van opzij door de zandlaag boven de eerste leemlaag.
Het straatpeil wordt bepaald aan de hand van het bestaande maaiveld en de verhanglijn van de riolering. Omdat het terrein helt kan de riolering onder vrij verval liggen. Soms moeten dan, om voldoende dekking op de riolering te krijgen, lager gelegen gedeelten in het terrein worden opgehoogd. De hiervoor benodigde grond komt uit de te ontgraven singels en vijvers en uit de wegcunetten. Ook het cunetzand komt uit de vijvers. De hoofdwegen hebben een cunet van 0,50 m, de wijk- en buurtwegen een cunet van 0,40 m dikte. Het van de hoger gelegen gronden toestromende grondwater wordt afgevangen via waterpartijen, die evenwijdig zijn gelegen aan de hoogtelijnen. Drainage wordt aangelegd in de rioolsleuven, met drainafstanden van ongeveer 75 m. Singels en vijvers zijn nodig in verband met beperking van de versnelde afvoer vanaf het verharde oppervlak. Laagbouw wordt op staal gefundeerd, hoogbouw op palen.

Veenendaal-West
De stuwwallen grenzen aan het gebied van Veenendaal. Na de vorming van de stuwwallen is rondom Veenendaal vooral leemarm dekzand afgezet. In het Holoceen heeft in de dalen veenvorming plaats gevonden, daar waar slechte afwateringsmogelijkheden waren. In het gebied rond Veenendaal is niet veel veen meer aanwezig; het is voor het merendeel vergraven.
Het gebied heeft een hoogteligging van 5,50 tot 8,80 m + N.A.P. Ten gevolge van kwel uit de Utrechtse Heuvelrug en de Veluwe komt het grondwater plaatselijk tot in het maaiveld. Er ligt een 0,20 à 1,00 m dikke humeuze bovenlaag aan de oppervlakte. Daaronder ligt een 10,00 à 12,00 m dikke laag matig fijn tot grof leemarm zand. Waar veen aanwezig is, is de bovengrond ongeveer 0,20 m dik. De plaatselijk aanwezige veenlagen gaan tot 0,90 à 3,00 m beneden het maaiveld (fig. 2.21). De wegen en het aanliggende maaiveld worden in verband met de kwel opgehoogd tot minimaal 6,25 m + N.A.P. De ophoging vindt plaats met grond uit waterpartijen en cunetten.
Er wordt ook opgehoogd om vrij verval in de riolering mogelijk te maken.
Cunetten worden uitgegraven tot aan de zandlaag, dat wil dus zeggen 0,50 à 3,00 m diep. De cunetten worden gevuld met grof zand uit de Utrechtse Heuvelrug. In de rioolsleuven wordt een drain gelegd op ongeveer 2,00 m beneden het maaiveld. Het waterpeil in de singels is tenminste 1,35 m beneden maaiveld.
Laagbouw wordt op staal gefundeerd, hoogbouw op palen.

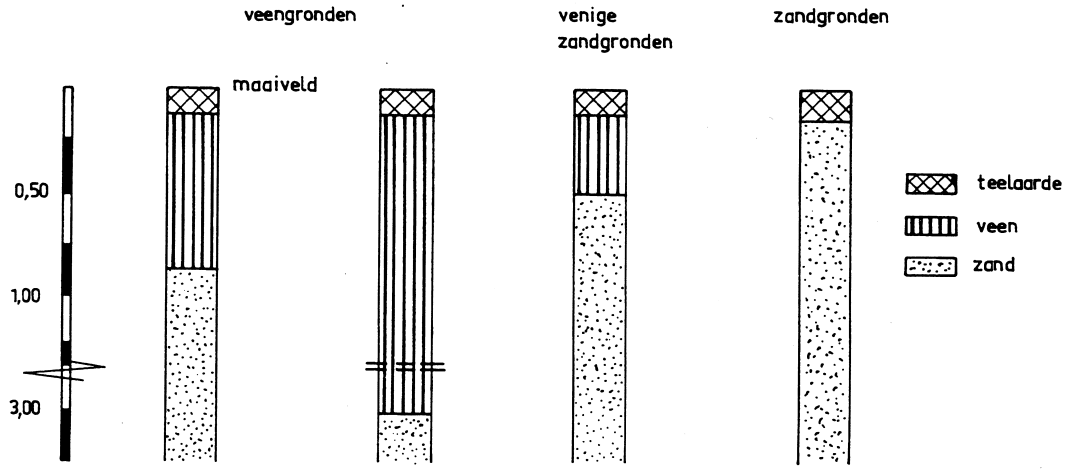


Fig. 2.21. Globaal profiel van het gebied Veenendaal-West

Roosendaal-Tolberg

Het gebied van de wijk Tolberg in Roosendaal is op 2,50 m tot 8,00 m + N.A.P. gelegen. Het wordt doorsneden door de Rissebeek en de Molenbeek. Globaal gesproken bestaat het profiel uit fijnzandige afzettingen vanaf het maaiveld tot 45,00 m ÷ N.A.P. met daarin klei- en leemvoorkomens. (Formaties van Twente en Tegelen). Deze laag is slecht doorlatend. Daaronder liggen lagen grof zand. Ter plaatse van de beken komen 1,00 à 1,50 m dikke veenlagen voor, plaatselijk in het zuidoosten van het gebied tot 2,00 m dik.

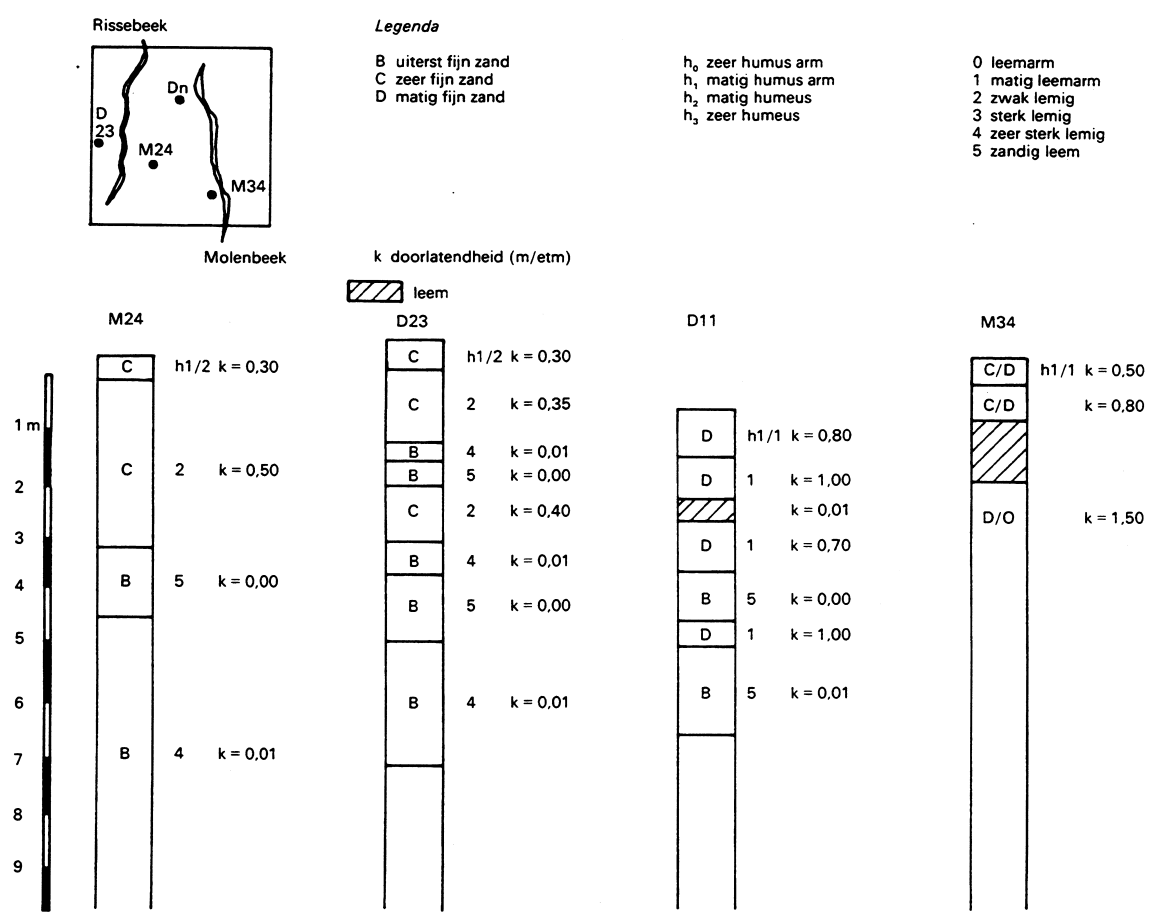


Fig. 2.22. Globale geologische profielen van Roosendaal-Tolberg [2-8]

Een indicatie van de bodemopbouw is weergegeven in fig. 2.22 [2-8]. Voor het gebied is voorgesteld om de cunettenmethode toe te passen. De dikte van de cunetten varieert, afhankelijk van de dikte van het humeuze pakket en het leemgehalte van de bovenlaag. Voor de groenvoorzieningen variëren de maatregelen van 0,50 m doorspitten en egaliseren tot 0,25 m teelaarde opbrengen gecombineerd met doorspitten en het aanbrengen van organische mest in plantgaten.
De drainage-afstand varieert van 15 m tot 35 m. Een storende-lagenkaart geeft de optimale draindiepte, omdat de drains boven de storende laag moeten worden aangebracht. Met deze kaart kan ook worden vastgesteld of het bij het ontgraven van de waterpartijen vrijkomende zand geschikt is als cunetzand. Tevens wordt hiermee vastgesteld of zich problemen zullen voordoen bij het graven van rioolsleuven en waterpartijen met betrekking tot de instandhouding van de taluds.
Bij sommige gronden is een bronbemaling nodig bij het graven van sleuven. Zettingsgevoelige venige lagen moeten worden opgehoogd en doorgespit om de doorlatendheid en bewortelbaarheid te verbeteren.
De funderingsdiepte voor laagbouw varieert van funderen op staal in een groot deel van het gebied, tot funderen op palen van maximaal 12 m in de beekdalen. Hoogbouw moet gefundeerd worden op palen met een lengte van 10 tot 18 m.

Breda-Haagse Beemden
Breda ligt op de overgang van het Noordbrabantse dekzandgebied naar het rivierengebied. Tot 1962 werd er in Breda gebouwd op de zandgronden, waar slechts ondiepe cunetten werden aangelegd. De uitbreiding De Hoge Vucht, ten noorden van het centrum van Breda, is bouwrijp gemaakt met cunetten en een onderbemaling van de singels. De bodemgesteldheid en hoogteligging van de Haagse Beemden, ten noordwesten van het centrum van Breda zijn zeer grillig. De ligging van het maaiveld loopt van 2,50 m + N.A.P. (plaatselijk 3,50 m) in het zuiden tot 0,50 m + N.A.P. in het noorden, langs de rivier de Mark. De bodem bestaat uit zand, klei en veen; plaatselijk komen leemlagen voor (fig. 2.23). Op een aantal van de hoger gelegen zandruggen komen waardevolle landschappelijke elementen voor, welke als parken worden opge-

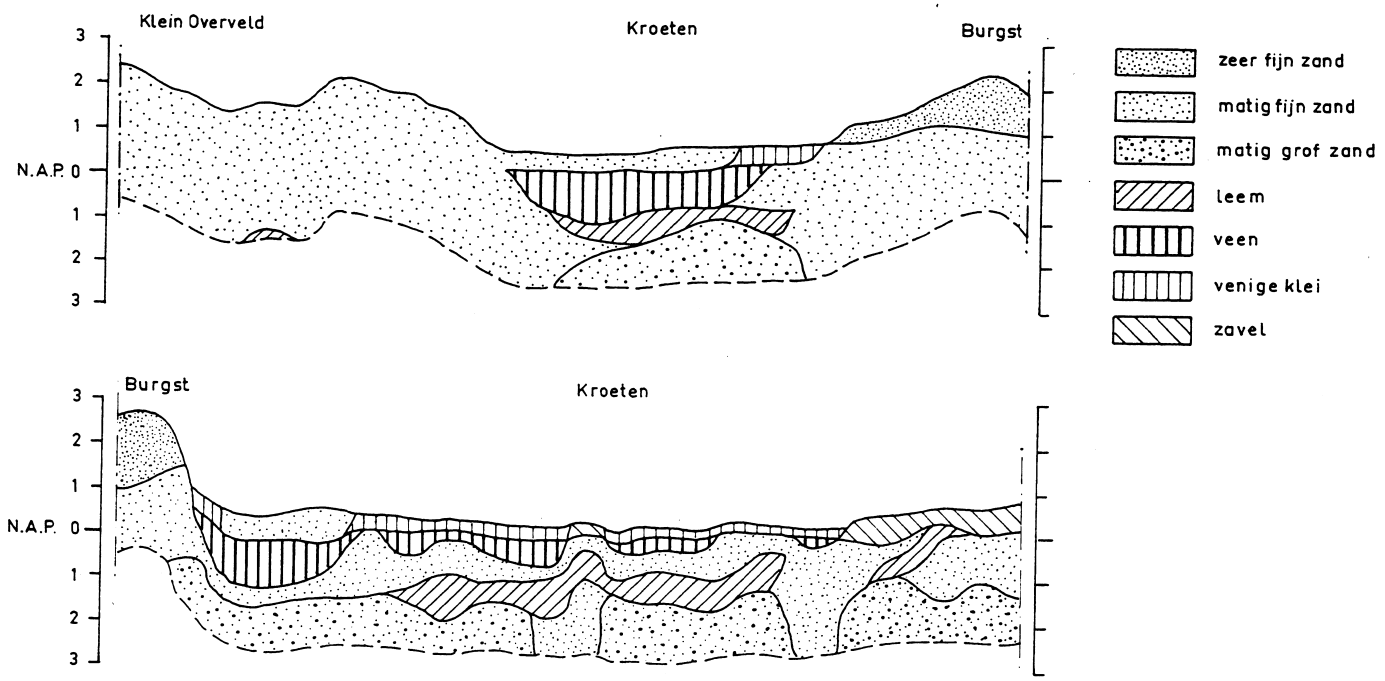


Fig. 2.23. Schematische doorsneden over Breda-Haagse Beemden

nomen in de nieuwe wijk. De te bebouwen gronden zijn veelal te nat of slecht begaanbaar. Grondwaterstandverlaging is afgewezen in verband met de aantasting van de naast gelegen te sparen groengebieden. Het waterpeil in de singels is afgeleid van de oorspronkelijk gemiddelde hoogste grondwaterstand om het te sparen groen niet droog te leggen.
De woongebieden worden opgehoogd met een dikte variërend van 0,40 tot 1,00 m. De ophogingen worden zowel via opspuiten als per vrachtwagen aangebracht.

2.5.3 Het klei- en veengebied
De zee heeft gedurende de laatste 8000 jaar, dus vanaf het einde van het Boreaal (tabel 2,7), getijdenafzettingen in Nederland gedeponeerd. Al deze afzettingen kwamen tot stand in elkaar regelmatig opvolgende transgressiefasen van de zee (Westland Formatie, fig. 2.9 en 2.24) [2-9]. De oudere getijdenafzettingen (Afzettingen van Calais) werden gevormd tot ongeveer 2000 jaar voor Chr. De bovenzijde ligt ongeveer 4,00 m ÷ N.A.P., soms iets hoger, soms door inklinking enige meters lager. De jongere getijdenafzettingen (Afzettingen van Duinkerken) zijn van na ongeveer 2000 jaar voor Chr. en liggen tussen het niveau van 4,00 à 5,00 m ÷ N.A.P. en 1,00 m + N.A.P. Het

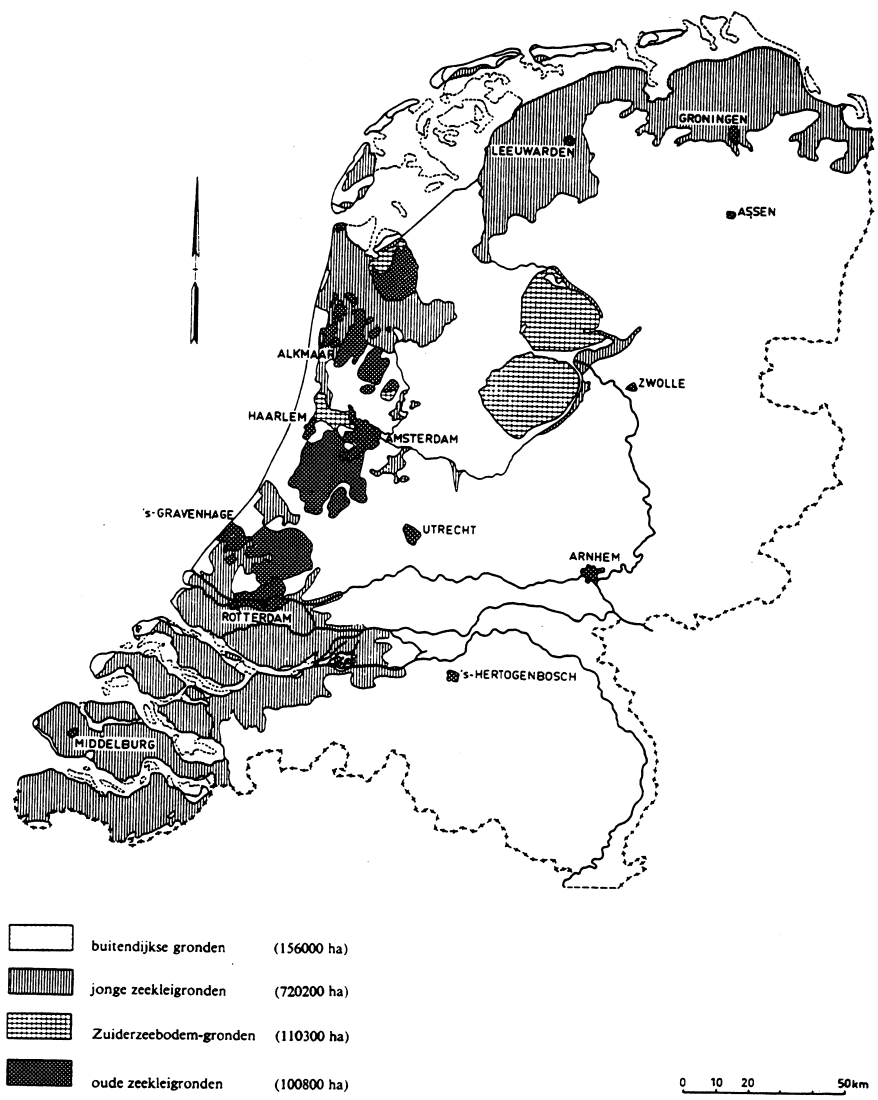


Fig. 2.24. Het zeekleigebied [2-9]

zeekleigebied wordt onderscheiden in het noordelijke, het centrale en het zuidwestelijke gebied. De verschillen in opbouw van de gebieden hangen samen met de verschillen in de ontwikkeling van de kust. Omstreeks 2200 à 2300 voor Chr. slibden vrijwel alle gaten in de strandwallen dicht. Achter de beschermende kustwal konden zich daarna in het Subboreaal, en plaatselijk nog later, veenmoerassen ontwikkelen. Gedurende het Subatlanticum werd het zuidwestelijke en noordelijke deel van de kust doorbroken. Zo werden in deze beide gebieden jonge getijdenafzettingen afgezet tot diep in het achterland op het veen of in plaats van het weggeërodeerde veen. In beide gebieden treft men de jongere afzettingen ver landinwaarts aan. In het centrale deel, van ongeveer Hoek van Holland tot aan Petten, is de strandwallenkust intact gebleven. De veenontwikkeling kon daar in grote lijn doorgaan tot aan de periode van ontginning door de mens. Slechts op enkele plaatsen brak de zee in en konden afzettingen van geringe uitgestrektheid op het veen worden afgezet. Na wind-erosie of door wegbaggeren voor turfwinning ontstonden meren, waarin na droogmaking de Afzetting van Calais aan de dag treedt (fig. 2.8). In het noorden werden dus op het dekzandlandschap van het pleistoceen uitgebreide pakketten veen gevormd. Later werden grote delen van het veen door de zee overspoeld. In het noorden en westen van Friesland en delen van Groningen werden meters dikke pakketten klei op het veen afgezet. In zuidelijk Groningen kon, buiten de invloed van de zee, het veen doorgroeien. Als gevolg van verveningen zijn daar geen veenprofielen meer te vinden. De geologische overzichtskaart van Nederland geeft voor dat gebied de Formatie van Twente aan, fluvioperiglaciale afzettingen bedekt met een dunne laag dekzand. Ook in Friesland lag een strook veen zo hoog dat er geen klei op afgezet is (Joure - Drachten - Dokkum). Ten westen daarvan ligt een gebied waar de veenlaag bedekt is met 0,40 à 0,80 m klei. Het veenpakket in dit middendeel van Friesland is ongeveer 3,00 m dik. In het noordelijk kleigebied zijn grote verschillen in zwaarte van de grond ontstaan.
De kreekwallen langs geulen en kreken bestaan uit zandige tot zavelige afzettingen. Meer landinwaarts werden in een rustiger milieu de zware sedimenten afgezet.

Veendam
Zoals eerder opgemerkt zijn er in het veenkoloniale gebied nauwelijks complete hoogveenprofielen meer aanwezig. Bij vervening van het gebied moest een laag veen van 0,30–0,50 m achterblijven, de bonkaarde. Deze werd daarna doorgespit met zand en zo ontstond de dalgrond. In Veendam wordt altijd de cunettenmethode toegepast, waarbij het wegcunet tot op de fijnzandige ondergrond wordt doorgegraven (fig. 2.25).

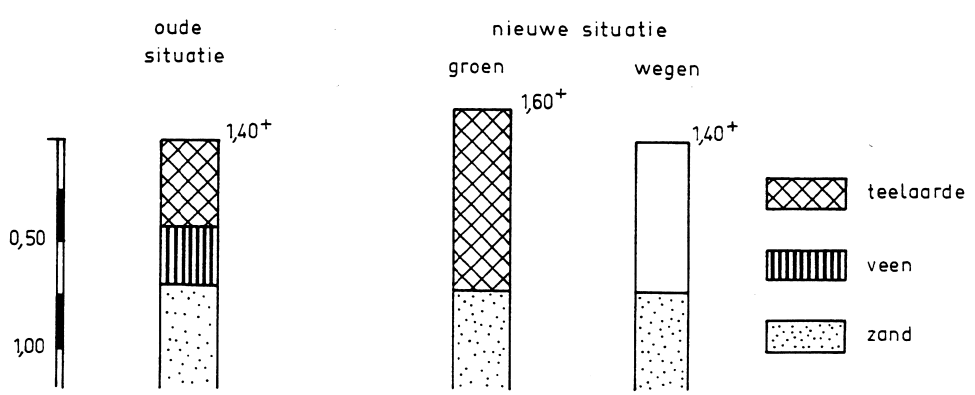


Fig. 2.25. Schematisch profiel Veendam

Appingedam-Oling
De hoogte van het terrein van de wijk Oling varieert van 1,45 m ÷ N.A.P. tot N.A.P. De bodem bestaat uit een laag zware klei die doorgaans 0,80 à 2,00 m dik is. Daaronder ligt

een laag lichtere, slappe klei. Deze slappe kleilaag heeft een zeer geringe doorlatendheid. Onder het kleipakket ligt een stevige veenlaag van 1,00 à 2,00 m dik. Onder de veenlaag ligt een laag lichte klei, waaronder op ongeveer 7,50 m ÷ N.A.P. de vaste zandlaag zit (fig. 2.26). Het waterpeil in de singels wordt 2,45 m ÷ N.A.P., zodat de ontwateringsdiepte groter is dan 1,00 m. Het bouwrijp maken geschiedt door middel van de cunettenmethode, waarbij 0,50 m zand onder de wegen wordt aangebracht. Het gebied wordt ook gedraineerd.

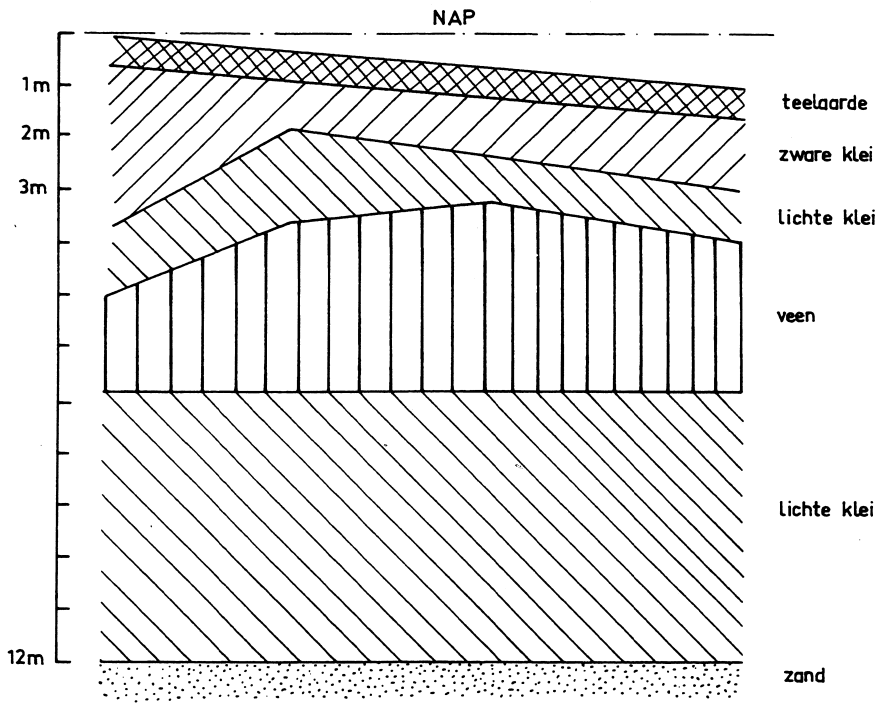


Fig. 2.26. Schematisch profiel Appingedam-Oling

Leeuwarden-Wiardaburen

Het gebied van het bestemmingsplan Wiardaburen is gelegen ten zuiden van Leeuwarden. De hoogte van het maaiveld varieert tussen 0,50 m ÷ N.A.P. en 0,50 m + N.A.P. [2-16]. Aan de oppervlakte komen zavel en lichte klei voor, afkomstig uit de Duinkerken transgressies. Op veel plaatsen komt een veenlaag voor op een diepte tussen 0,80–2,20 m beneden maaiveld, met een dikte van 0,60 m.

Onder het veen komt altijd klei voor (Afzetting van Calais). Het grootste deel van het gebied bestaat uit de kwelderwal van de voormalige Middelzee. Op de bodemkaart worden 10 bodemeenheden onderscheiden. In hoofdzaak komen er poldervaaggronden voor, dat wil zeggen kleigronden met een onduidelijke bovenlaag. De gronden hebben een slechte doorlatendheid.

Drie alternatieve methoden van bouwrijp maken zijn onderzocht:

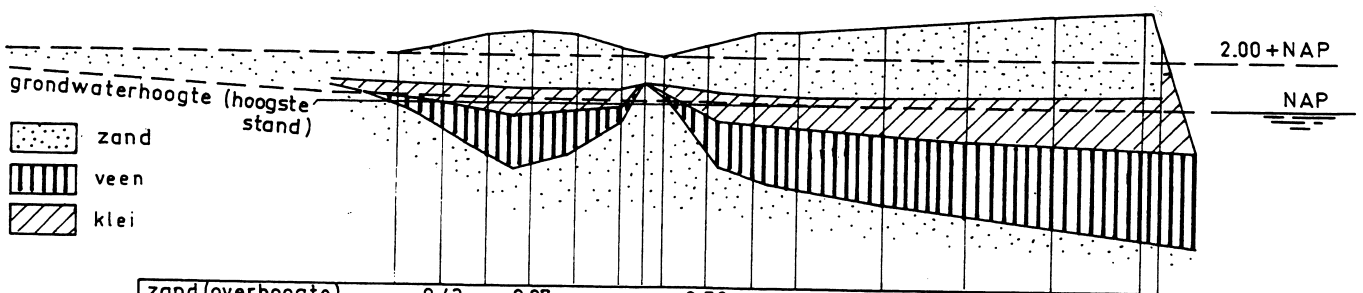
1. Ophogen met 0,95 m zand zonder peilverlaging. De netto ophoging na zetting bedraagt 0,72 m en de afstand maaiveld – polderpeil is dan ongeveer 1,40 m.
2. Ophogen met 0,70 m zand met peilverlaging. De netto ophoging na zetting bedraagt 0,45 m en de afstand maaiveld – polderpeil is ongeveer 1,40 m.
3. Ophogen met grond, het aanbrengen van wegcunetten en een polderpeilverlaging. In de cunetten wordt 1,00 m zand aangebracht. Met een sluitende grondbalans komt het terrein 0,33 m hoger te liggen en de afstand maaiveld – polderpeil bedraagt dan ongeveer 1,20 m.

De kosten van de methoden bedragen (prijspeil 1981):
1 – *f* 98.000,– per hectare
2 – *f* 85.000,– per hectare
3 – *f* 85.000,– per hectare
Methode 2 is aanbevolen.

Huizen-de Oostermeent

Op een pleistocene zandondergrond onder het gebied ligt een enkele meters dikke veenlaag waarop een laag jonge mariene klei voorkomt (fig. 2.27) [2-17]. Het klei-veenpakket heeft in het noord-oostelijke deel een dikte van meer dan 5 m en wigt naar het zuiden toe uit op de pleistocene ondergrond. De grondwaterstand wordt beïnvloed door het diepe grondwater; een kwelstroom vanaf de stuwwal. In het oostelijk deel komt in de ondergrond van het gebied een dikke laag Eemienklei voor waardoor de grondwaterstand daar slechts beperkt wordt beïnvloed door de kwel. Er zijn 3 alternatieven onderzocht, met als uitgangspunt dat de afstand maaiveld – polderpeil 1,20 m moet bedragen:

1. Ophoging met 1,00 m zand, een polderpeilverlaging, drainage en de aanleg van een dijk langs het Gooimeer.
2. Ophoging met zand, drainage en de aanleg van een dijk langs het Gooimeer.
3. Ophoging met zand tot een definitief peil van 2,00 m + N.A.P. zodat geen dijk nodig is. De benodigde zandophoging van dit alternatief is aangegeven in fig. 2.27, evenals de tengevolge van de ophoging optredende zetting.



zand (overhoogte)	0.43	0.07	0.58	1.10	1.23	1.41	1.52
zand tot 2.00 + NAP	1.15	1.25	1.35	1.40	1.60	1.50	1.50
klei	0.70	1.05	0.90	1.30	1.50	1.65	1.75
veen	0.85	2.00	1.20	2.25	2.50	2.85	3.30

Fig. 2.27. Schematische doorsnede van Huizen-Oostermeent

Hoewel alternatief 3 bijna 18% duurder was dan beide andere alternatieven is hieraan toch de voorkeur gegeven. Hierbij speelden onder andere de volgende overwegingen een rol: vrije ligging boven het Gooimeerpeil waarbij het Gooimeerwater vrij in het plan kan doordringen, een grotere grachtafstand met minder kostbare overbruggingen en lagere onderhoudskosten. Later is in verband met andere inzichten over zandwinning en het handhaven van het landschap besloten de 2e fase volgens methode 1 uit te voeren.

Amsterdam-Bijlmermeer

De stadsuitbreiding ten zuidoosten van Amsterdam is gelegen in een gebied met verschillende bodemkundige-hydrologische uitgangssituaties (fig. 2.28). Zo kent de Venserpolder een maaiveld op ongeveer 2,00 m ÷ N.A.P. en een bodemprofiel met van boven naar beneden ongeveer 3,00 m veen, 4,00 m klei en ruim 0,50 m veen. De Bijlmermeer heeft een maaiveld van ongeveer 4,00 m ÷ N.A.P. Het bodemprofiel is van boven naar beneden opgebouwd met 0,30 m klei op 2,50 m veen op 1,50 m klei, of 2,50 m veen op 1,30 m klei op 1,00 m veen. Aan de noordkant van het gebied komt onder de

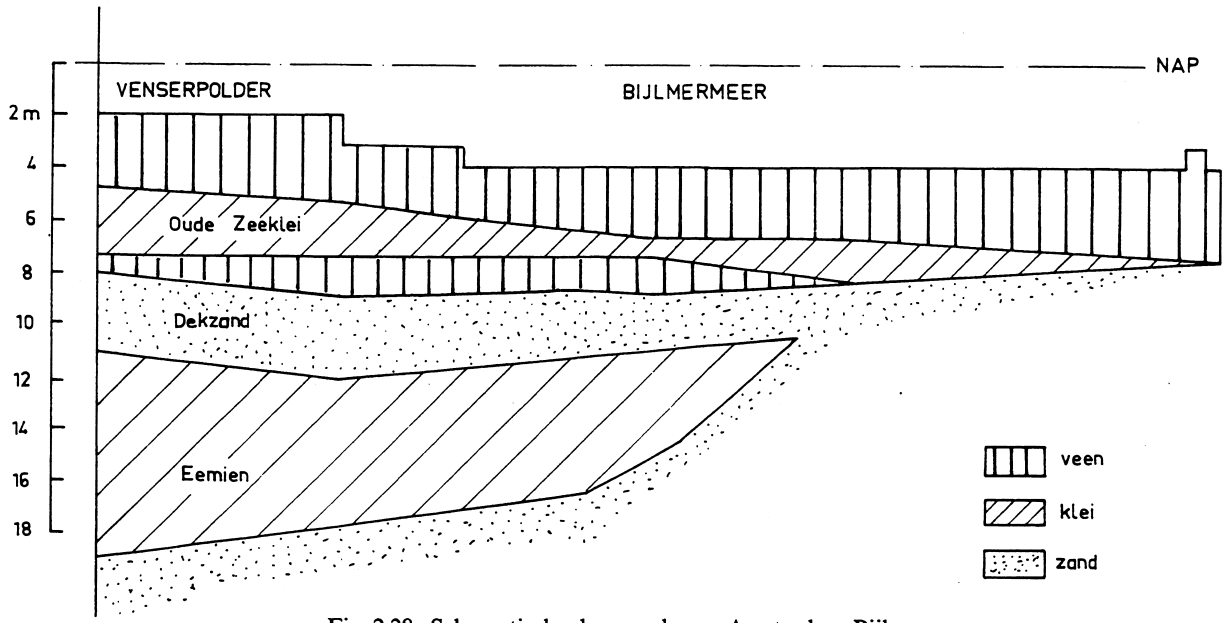


Fig. 2.28. Schematische doorsnede van Amsterdam-Bijlmermeer

zandlaag nog een pakket klei voor van 5,00 m tot 0,00 m dik. In het zuiden is dit pakket afwezig. In het noorden kan soms op de bovenste zandlaag worden gefundeerd, soms op de onderste zandlaag. De funderingsdiepte varieert zo van 12,00 m tot 30,00 m. Het gehele gebied is door middel van een zandopspuiting van 1,50 à 2,70 m dikte opgehoogd.

Purmerend-De Purmer

De Purmer is een droogmakerij waar de oude zeeklei (Afzetting van Calais) aan de oppervlakte komt. Het maaiveld ligt 3,50 à 4,00 m ÷ N.A.P. Het polderpeil ligt op 4,50 à 4,30 m ÷ N.A.P. Het verschil tussen maaiveld en polderpeil bedraagt dus 0,50–0,80 m. Het bodemprofiel is als volgt opgebouwd: de bovenste 2,00 à 3,00 m bestaat uit klei en zavel van een redelijke doorlatendheid. Daaronder ligt een laag van 10,00 à 15,00 m slibhoudend zand of zavel. Onder de zavel ligt onder een deel van het gebied een kleilaag met een maximale dikte van 3,50 m. Ook komt onder een deel van het gebied een laag veen voor met een maximale dikte van 0,60 m. Het gebied wordt bouwrijp gemaakt met de cunettenmethode, waarbij 0,50 m zand onder de verharding wordt aangebracht. Het polderpeil wordt ingesteld op 4,30 m ÷ N.A.P.; dieper kan niet in verband met het zoutbezwaar. In het te bebouwen gebied wordt het verschil tussen maaiveld en polderpeil 0,90 m. Er worden drains aangelegd. De funderingsgrondslag is 16,00 à 18,00 m beneden maaiveld.

Den Haag-Houtwijk

De bodemgesteldheid van het Haagse grondgebied is bepaald door de ligging aan de zee. De basis voor het ontstaan van het huidige gebied is een strandwal welke ongeveer 4500 jaar voor Chr. werd afgezet. Op de strandwal ontstonden verstuivingen die zich tot evenwijdige duinenrijen vormden over een breedte van enige kilometers parallel aan de kust. In de tussenliggende, langgerekte laaggelegen dalen vormde zich veen (fig. 2.29 en 2.30). Tengevolge van latere overstromingen is op een deel van het gebied een laag jonge zeeklei afgezet. Een deel van het gebied van de wijk Houtwijk is een polder met een polderpeil van 1,74 m ÷ N.A.P., terwijl een ander deel van Houtwijk boezemland is met een waterpeil van 0,40 m ÷ N.A.P. (Delflands Boezem). Het bouwrijp maken gebeurt met de cunettenmethode. Uitgangspunt is dat de kruin van de weg minimaal 1,30 m boven het open waterpeil komt. Een zandcunet van ongeveer 1,00 m komt onder de verharding. Op plaatsen waar veen zit wordt het cunet doorgegraven tot op het zand.

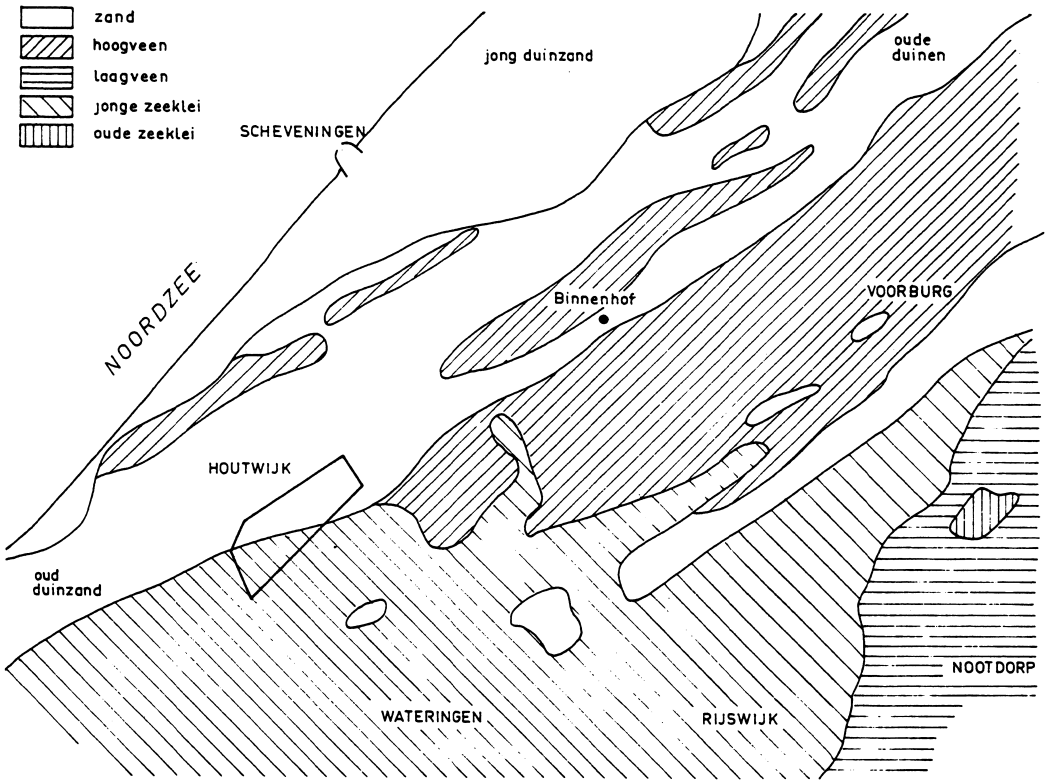


Fig. 2.29. Geologische gesteldheid van Den Haag en omgeving

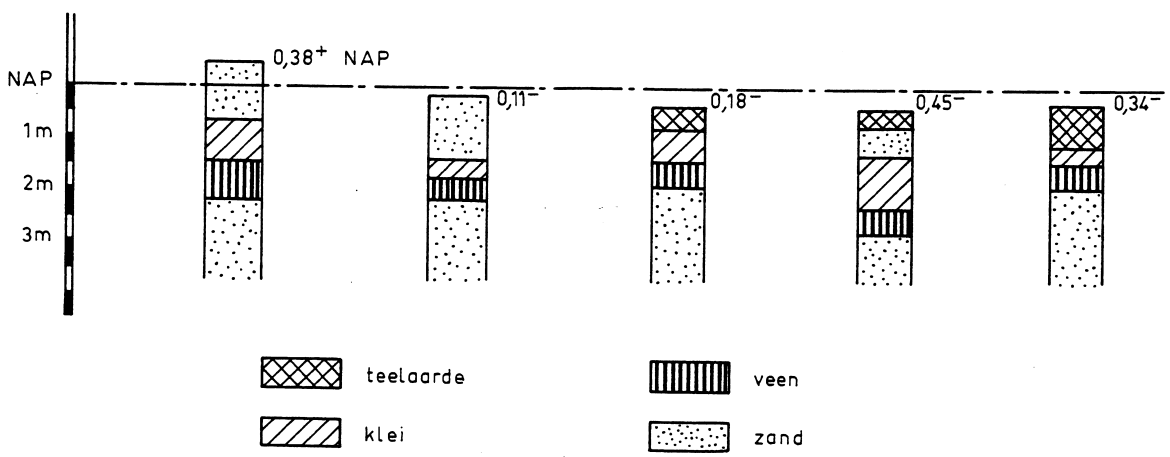


Fig. 2.30. Profielen in Den Haag-Houtwijk

Goes

In fig. 2.31 is van twee woongebieden in Goes het profiel weergegeven. In beide gebieden wordt de cunettenmethode toegepast. In Goes-Zuid zijn onder de wegverharding cunetten met 0,40 m zand aangebracht, onder de voetpaden 0,20 m en onder de parkeerplaatsen 0,30 m. Het oorspronkelijke maaiveld is 0,50 m met klei opgehoogd, waarna het ongeveer 0,10 m is gezakt tot 0,60 m ÷ N.A.P. De afstand maaiveld – polderpeil bedraagt 1,15 m.

In de recenter bebouwde Goese Polder en de Noordhoek is het oorspronkelijke maaiveld ook met 0,50 m klei opgehoogd. Na zetting ligt het maaiveld nu op 0,35 m ÷ N.A.P. Het polderpeil is 1,75 m ÷ N.A.P.
De zandcunetten onder de wegen zijn hier 0,70 m, onder de voetpaden 0,25 m en onder de parkeerplaatsen 0,50 m. Er is drainage in de wegcunetten aangebracht.

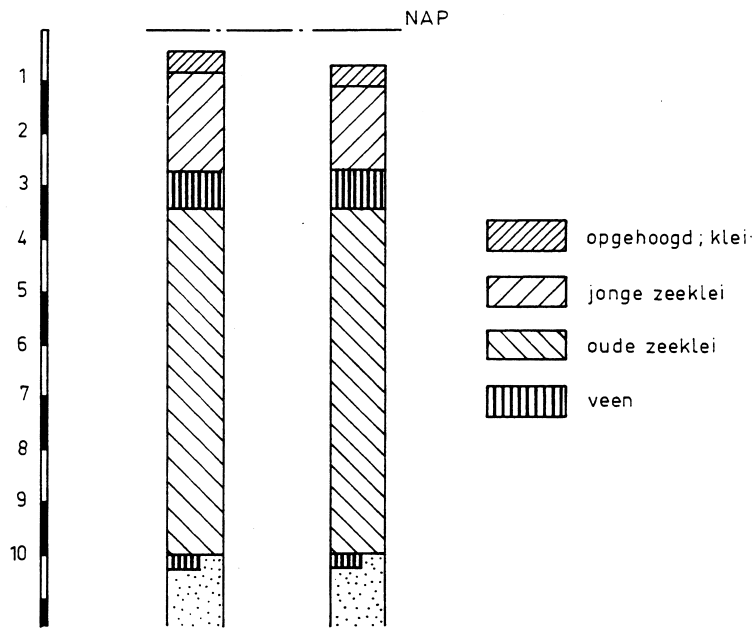


Fig. 2.31. Bodemprofielen in Goes

2.6 Samenvatting

In het hoofdstuk over de bodemgesteldheid wordt ingegaan op de wijze waarop gronden en bodems worden geclassificeerd. Vervolgens worden de eigenschappen beschreven die de verschillende grondsoorten en bodemtypen bezitten in relatie tot het bouwrijp maken van terreinen.
Eveneens in het licht van de geschiktheid voor stedelijke doeleinden wordt een korte beschrijving gegeven van de geologische opbouw en de bodemgesteldheid van Nederland. Tenslotte worden van een aantal stadsuitbreidingen, gelegen in gebieden met een karakteristieke bodemgesteldheid, deze bodemgesteldheid en de wijze van bouwrijp maken beschreven.

3 De waterhuishouding

3.1 Inleiding

De neerslag die op een stedelijk gebied valt komt op een andere wijze tot afvoer dan de neerslag die op een landelijk gebied valt. Dit is de reden dat de waterhuishouding van stedelijke gebieden als een apart probleemgebied kan worden beschouwd. De verandering van de afvoer uit een stedelijk gebied wordt veroorzaakt door de aanwezigheid van verhard oppervlak (wegen, trottoirs, daken en dergelijke) en door de aanleg van rioolstelsels. De afvoerpiek bij een bepaalde neerslag zal hierdoor hoger worden en de afvoer zal sneller plaatsvinden dan in een landelijk gebied.
De dimensionering van het rioleringssysteem en het open water wordt bepaald door kenmerken van de neerslag en van het bestaande waterhuishoudkundig systeem en door de eisen die in het stedelijke gebied worden gesteld. Ook het grondwater hangt hiermee samen.
Met betrekking tot de neerslag en het waterbeheersingsstelsel gaat het om de volgende aspecten:
- de waarschijnlijkheid waarmee een bepaalde hoeveelheid neerslag valt;
- de verliezen, vertragingen en vervormingen die bij het tot afvoer komen van de neerslag optreden;
- de verhouding tussen verhard en onverhard oppervlak binnen het stedelijk gebied;
- het gekozen rioolstelsel;
- de aanwezige waterkwaliteit.

De riolering wordt aangelegd voor de afvoer van de neerslag en van het afvalwater. Het gekozen rioleringssysteem heeft grote invloed op het ontwerp en de dimensionering van het open water in het stedelijk gebied. De belangrijkste functie van het open water is de afvoer en de berging van overtollige neerslag. In verband hiermee worden eisen gesteld aan de hoeveelheid oppervlak aan open water in het stedelijk gebied. Door middel van tijdelijke berging wordt de piekafvoer verkleind en worden de peilfluctuaties en stroomsnelheden in het stedelijk gebied binnen aanvaardbare grenzen gehouden. Daarenboven is het stedelijk open water verbonden met het open water in een polder, met een boezem of met een rivier. De eisen aan het maximum van de afvoer vanuit het stedelijk gebied worden veelal door de waterschappen of hoogheemraadschappen gesteld, waarbij niet toegestaan wordt dat afvoer, peilfluctuaties en stroomsnelheden in het polder- of boezemwater buiten de stad sterk toenemen.
De waterkwaliteit van het open water in een stedelijk gebied wordt onder andere bepaald door het gekozen rioleringssysteem. Bij een gemengd rioolstelsel wordt af en toe huishoudelijk afvalwater direct op het open water geloosd. Bij een gescheiden rioolstelsel komt straatvuil op het open water terecht. Om de waterkwaliteit van het open water in een stedelijk gebied goed te houden moet daarom aandacht worden besteed aan de verversing.

Het grondwater in het stedelijk gebied moet op een voldoende afstand beneden het maaiveld worden gehouden. Hiervoor moet onder andere het open water-peil voldoen-

de diep zijn. Dit peil beïnvloedt echter in belangrijke mate de kosten van de aanleg van wegen, bruggen en dergelijke, terwijl tevens in delen van ons land het optreden van zoute kwel wordt beïnvloed.
De grondwaterbeheersing is in verband met diverse eisen van belang. Gedurende de bouw van stadsuitbreidingen kunnen hoge grondwaterstanden problemen veroorzaken door een slechte begaanbaarheid van het bouwterrein en bij het leggen van kabels en leidingen. Na de bouw hebben hoge grondwaterstanden invloed op het onderhoud van wegen en kunnen veranderingen in de grondwaterstanden zettingen veroorzaken. Bij water onder de woning wordt het woonklimaat beïnvloed. De veranderingen van de grondwaterstand kunnen door kwel en wegzijging ontoelaatbare grondwaterstandsveranderingen in de omgeving teweeg brengen. Tenslotte beïnvloeden de grondwaterstand en het bodemvocht de groeimogelijkheden van de beplanting.
Het open water in de stad kan nog meer functies vervullen dan de bovengenoemde. Het heeft veelal ook een recreatieve functie, een esthetische functie, een structurerende functie, een natuurlijke of ecologische functie, een vervoersfunctie en een scheidende functie. Al deze functies stellen eisen aan waterkwantiteit, waterkwaliteit en de inrichting van het water. Tenslotte is er het veiligheidsaspect. Doordat in de loop der jaren het open water nadrukkelijker binnen de directe woonomgeving is aangebracht is aandacht voor het verdrinkingsgevaar extra belangrijk geworden.
Het open water in de stad met bruggen, passages voor kabels, leidingen en rioleringen, met wegomleggingen, beschoeiingen en voorzieningen voor meervoudig gebruik, is duur. Het ruimtegebrek is aanzienlijk, de investeringen bij aanleg groot en de onderhoudskosten zijn niet onbetekenend. Ook de juridische kant van de stedelijke waterbeheersing is van belang.

Dit complexe geheel van factoren levert bij het ontwerp vaak problemen op tussen de diverse belangen. Het ontwerp zal tenminste gebaseerd moeten zijn op de afvoer en berging van de overtollige neerslag. In de volgende paragrafen zal verder worden ingegaan op de factoren die het ontwerp beïnvloeden. In hoofdstuk 5 zal het ontwerp van technieken voor de grondwaterbeheersing worden uitgewerkt en in hoofdstuk 6 het ontwerp van het open water.

3.2 De hydrologische cyclus

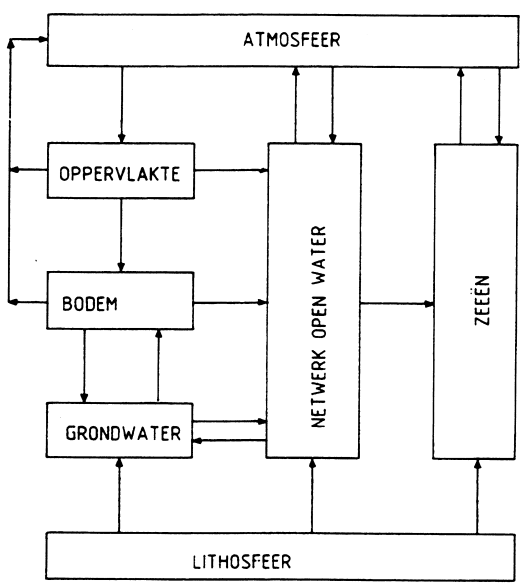


Fig. 3.1. De hydrologische cyclus

3.2.1 Het stedelijk hydrologisch systeem

De hydrologische cyclus wordt in het algemeen weergegeven zoals in fig. 3.1. Hierin wordt een cyclus aangegeven met daarin de overgangen van water in de verschillende vormen waarin het voorkomt. Een voor de bestudering van de cyclus meer bruikbare afbeelding is weergegeven in fig. 3.2. Tengevolge van het feit dat de hoeveelheid water constant is, is voor elk onderdeel van de cyclus of voor elk gebied de volgende waterbalans op te stellen:

Aanvoer – Afvoer = Verandering van Berging

Deze vergelijking kan voor een bepaald begrensd gebied in de volgende vorm worden geschreven:

$$N + K + I = V + A + W + \Delta S_o + \Delta S_b + \Delta S_{gw}$$

waarin:

N = neerslag
K = kwel
I = ingelaten water
V = verdamping
A = afvoer
W = wegzijging
ΔS_o = berging in open water, hetgeen resulteert in een verandering van waterpeil
ΔS_n = berging in het bodemvocht, hetgeen resulteert in een verandering van het vochtgehalte
ΔS_{gw} = berging in het grondwater, hetgeen resulteert in een verandering van de grondwaterspiegel

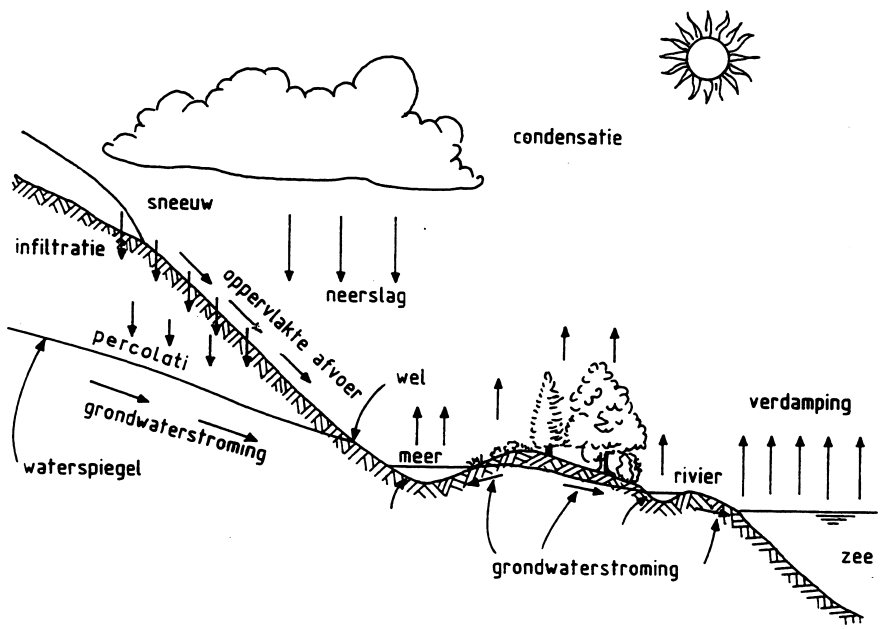


Fig. 3.2. De hydrologische cyclus (schematisch)

Het in fig. 3.2 weergegeven schema is te beschouwen als de weergave van een niet-stedelijk gebied. De invloed van de verstedelijking op de hydrologische cyclus is groot. In fig. 3.3 is de stedelijke hydrologische cyclus schematisch weergegeven. In de figuur ontbreken kwantitatieve en kwalitatieve gegevens. Deze gegevens zullen in volgende hoofdstukken aan de orde komen. Fig. 3.4 geeft een principe-doorsnede van het stedelijk gebied.

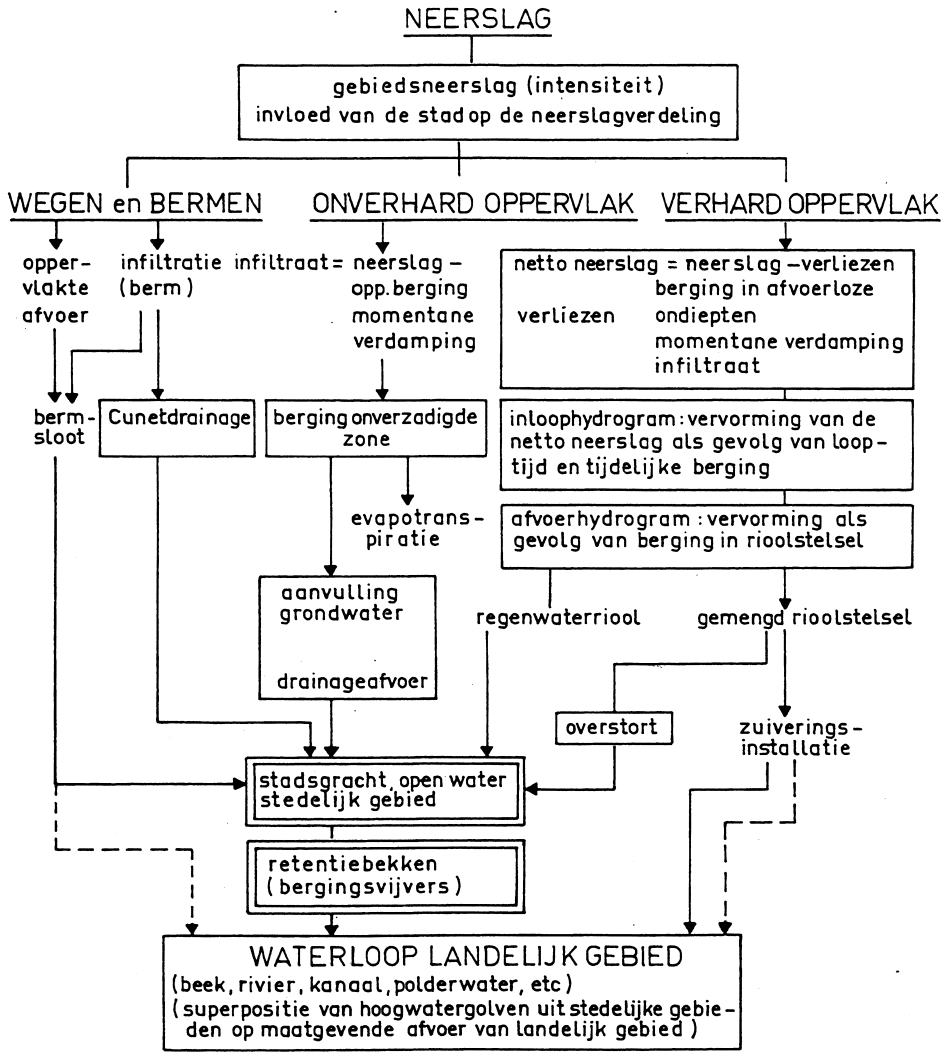


Fig. 3.3. De hydrologische cyclus (schematisch) van een stedelijk gebied

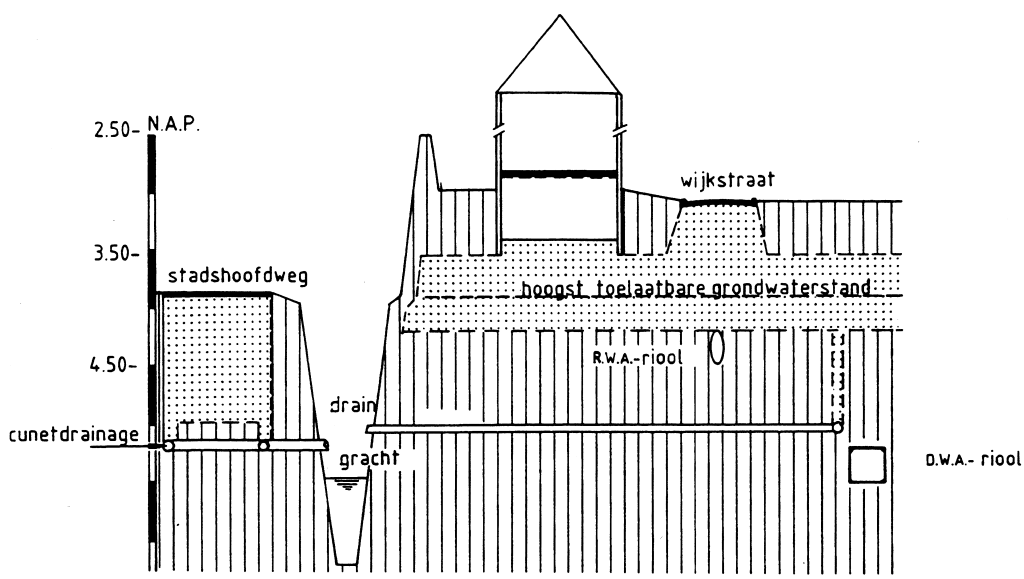


Fig. 3.4. De waterbeheersing van een stedelijk gebied

De stedelijke waterbeheersing kent een aantal probleemvelden:
- voldoen aan de waterbehoefte, welke behoefte in 't algemeen groter is dan de waterbronnen van het betreffende gebied;
- het afvoeren en verwerken van het afvalwater; afgevoerd afvalwater kan de waterbronnen van de stad beïnvloeden of na reiniging in aanmerking komen voor hergebruik;
- het afvoeren en verwerken van een grotere piekafvoer welke sneller tot afvoer komt dan die uit het landelijk gebied;
- het zodanig ontwerpen van het open water, dat de waterkwaliteit mogelijk maakt dat de gewenste functies worden uitgeoefend;
- het zodanig beheersen van het grondwater, dat de stedelijke functies geen hinder ondervinden;
- het inrichten van het water voor gebruik; daarbij moeten in een relatief klein gebied veel functies mogelijk zijn.

Zoals al eerder aangegeven beperkt dit boek zich tot de laatste vier aspecten.

In Nederland infiltreert de neerslag, die op een onverhard oppervlak valt, in het algemeen geheel in de grond. Het water blijft gedeeltelijk in de grond boven de grondwaterspiegel achter en stroomt voor het overige deel naar het grondwater. Dit laatste heeft een verhoging van de grondwaterstand tot gevolg, waardoor afstroming van het grondwater kan plaatsvinden naar natuurlijke of kunstmatige waterlopen. Dit gehele stromingsproces heeft een aanmerkelijke vertraging en uitvlakking van de afvoer ten opzichte van de neerslag tot gevolg.
In landen met hogere neerslagintensiteiten dan in Nederland, een ander bodemreliëf en andere bodemgesteldheid, kan ook een oppervlakte-afstroming plaatsvinden over een onverhard oppervlak.

De neerslag die op een verhard oppervlak valt stroomt voor een belangrijk deel over dat verharde oppervlak naar straatkolken en andere afvoerpunten. Vandaar loopt het via rioolbuizen naar natuurlijke of kunstmatige open waterlopen. De vertraging en de verliezen die tijdens dit afstromen optreden zijn veel geringer dan bij onverharde oppervlakken (fig. 3.5). Hoewel in volgende hoofdstukken veel uitvoeriger wordt ingegaan op deze processen worden hier, in verband met de begripsvorming, enige getallen gegeven. Het zijn globale getallen die niet bruikbaar zijn als rekennormen.
In stedelijke gebieden komen aanzienlijke oppervlakken verhard gebied voor. Afhankelijk van de bestemming is 20 tot 100% van het oppervlak verhard. Het gemiddelde over een stedelijk gebied bedraagt 30 à 40%. De verschillen in afvoersnelheid en afvoerpiek tussen verhard en onverhard oppervlak worden geïllustreerd aan de hand van de volgende getallen:
- Bij verharde oppervlakken vindt de afvoer in de tijd ongeveer gelijk plaats met de neerslag en bedraagt de afgevoerde hoeveelheid ongeveer 0,6 à 0,8 maal de neerslag. Dit betekent een hoeveelheid water van ongeveer 0,03 m over het afvoerend oppervlak in 3 uur, eenmaal in de tien jaar.
- Bij onverharde oppervlakken wordt voor de ontwateringsberekening vaak gerekend met 0,010 à 0,015 m waterschijf in 24 uur.

Microklimaatsveranderingen
Er zijn plaatselijke klimaatsveranderingen vastgesteld die veroorzaakt zijn door verstedelijking. Van de verschillende effecten en de omvang van de veranderingen is echter nog zeer weinig bekend. Vier mechanismen veroorzaken de genoemde veranderingen in het microklimaat van steden:
- de natuurlijke stralingsbalans wordt verstoord door veranderingen in de eigenschappen van het oppervlak: vegetatie wordt vervangen door steen en beton;

- bebouwde gebieden zijn obstakels voor de wind en veranderen daarmee de luchtstroming en turbulentie;
- de waterdampbalans is anders door de verandering van vochtige in droge oppervlakken;
- de stad produceert hitte, waterdamp en verontreiniging welke in de lucht wordt uitgestoten.

Opgemerkt moet worden dat onderzoek voor sommige steden wel en voor andere steden geen beïnvloeding van de neerslag heeft aangetoond [3-1]. In verband met het

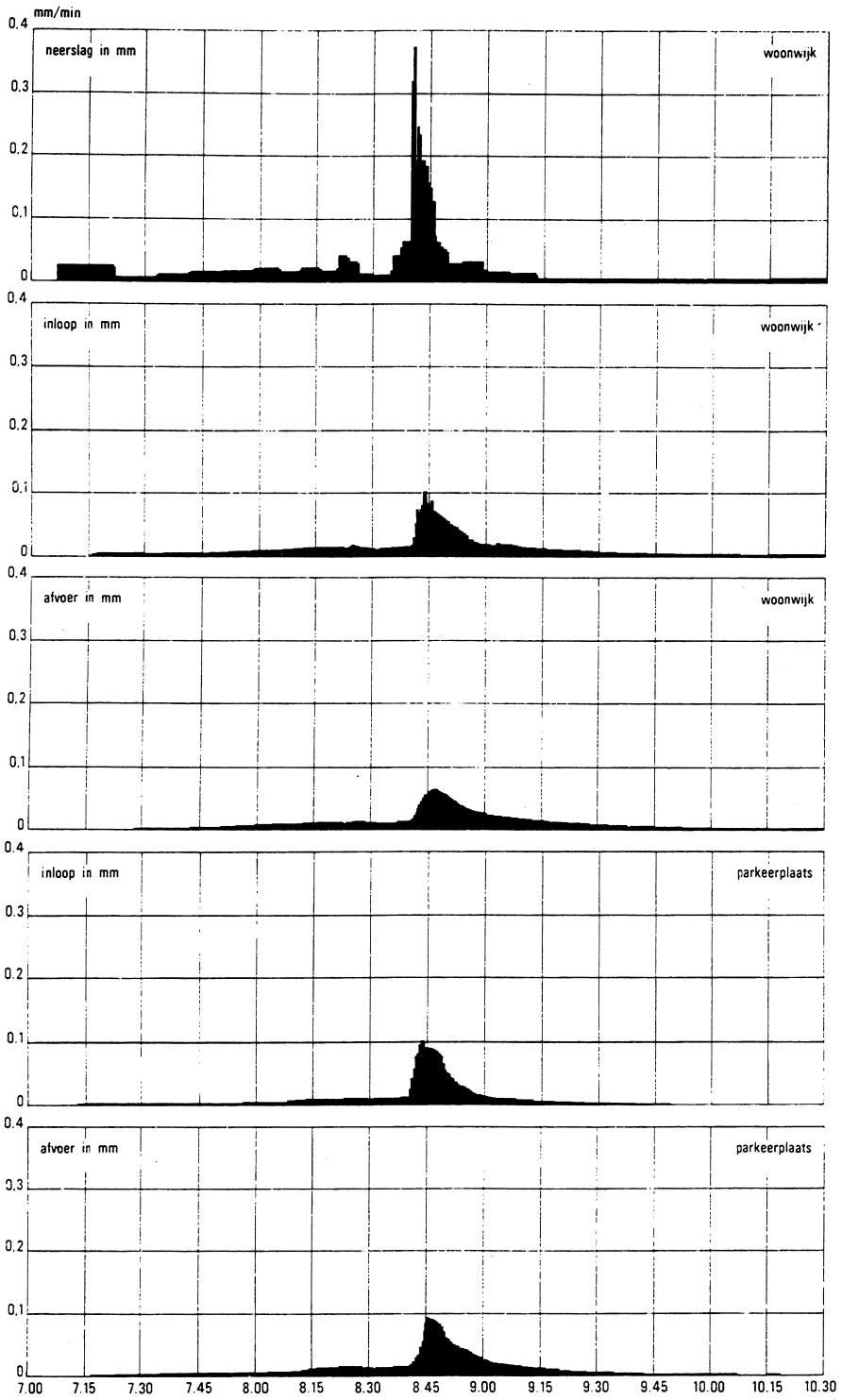


Fig. 3.5. Neerslag en afvoer in een stedelijk gebied [3-1]

frequent gebruik van de regencijfers van De Bilt is onderzocht of het zich zowel naar omvang als intensiteit uitbreidende stadsklimaat van Utrecht in de loop van de tijd ook de regenval in De Bilt is gaan beïnvloeden. Een dergelijke invloed kon niet worden aangetoond. Kraayenhof van de Leur daarentegen constateerde in Nederland een regionale toename van het aantal zware zomerdag-neerslagen in de nabijheid van industriegebieden en grootstedelijke agglomeraties [3-2]. Studieresultaten uit de USA hadden al eerder deze invloed bevestigd.

3.2.2 Neerslag en verdamping

De gemiddelde jaarlijkse neerslag over de periode 1941–1970 varieert op verschillende plaatsen in Nederland van 700 tot 950 mm. Maandsommen geven een indruk van de verdeling van de neerslag over het jaar (fig. 3.6). De gemiddelde jaarlijkse verdamping aan een vrij wateroppervlak over de zelfde periode, berekend volgens de methode van Pennman, varieert op verschillende plaatsen in Nederland van 650 tot 770 mm [3-3]. Gezien dit verloop van neerslag en verdamping kunnen, in verband met het neerslag-afvoerproces, in een jaar drie perioden worden onderscheiden (verdamping = Ep, neerslag = R):

- van begin april tot half juli: $Ep > R$. Aangenomen wordt dat begin april het teveel aan water door een goede ontwatering en afwatering reeds is verwijderd. De grondwaterstand zal door de verdamping geleidelijk dalen en het bodemvochtgehalte zal geleidelijk afnemen;
- van half juli tot begin november: $R > Ep$. Aangenomen kan worden dat het neerslagoverschot in deze periode gebruikt wordt om het vochttekort, dat in de bodem in de vorige periode is ontstaan, aan te vullen;
- van begin november tot begin april: $R > Ep$. Het neerslagoverschot in deze periode geeft een overschot aan water, dat moet worden afgevoerd.

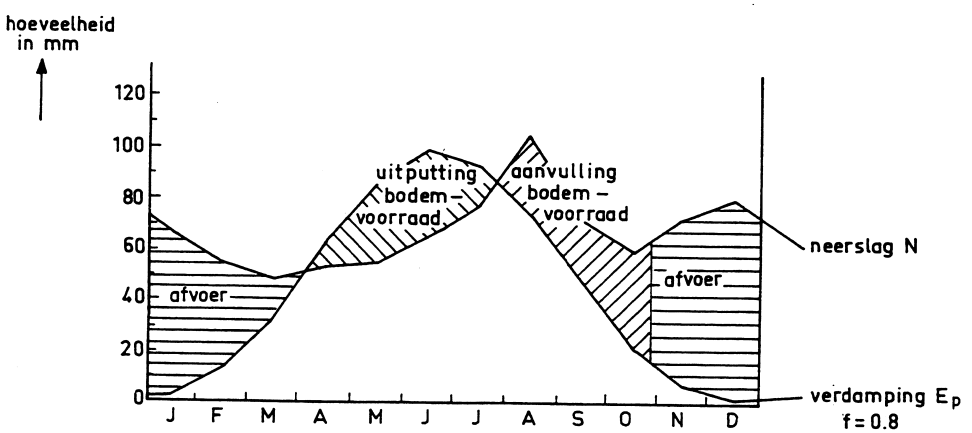


Fig. 3.6. Gemiddelde neerslag en gemiddelde potentiële verdamping over het jaar

3.2.3 Neerslag

Ten behoeve van het ontwerpen van het waterbeheersingssysteem in de stad zijn met betrekking tot de neerslag een drietal aspecten van belang:

- de hoeveelheid neerslag en de verdeling ervan over het jaar;
- het neerslagoverschot in de winter;
- de hoeveelheid neerslag en de neerslagintensiteit van korte buien.

De hoeveelheid neerslag en de verdeling ervan over het jaar is van belang omdat hieruit kan worden afgeleid hoeveel water jaarlijks uit het stedelijk gebied wordt afgevoerd. Bovendien kan hiermee de verblijftijd van het water in de grachten worden bepaald. Dit is van belang in verband met de kwaliteit van het grachtwater. In dit verband is ook van

belang via welke weg het water tot afvoer komt. De waterbalans voor een deel van een stedelijk gebied is weergegeven in tabel 3.1. Het betreffen de gegevens van een meetgebied van het Stedelijk Wateronderzoek in Lelystad [3-4]. Het meetgebied is 2 ha groot en heeft een verhardingspercentage van 44%. In hoofdstuk 6 zal dit onderwerp verder worden uitgewerkt.

Tabel 3.1. Waterbalans voor het meetgebied in de woonwijk Pampus-Blokkerhoek in Lelystad op grond van de gegevens van 1970 t/m 1975 [3-4]

	neerslag (mm)	drainafvoer (mm)	rioolwater-afvoer (mm)	totale afvoer (mm)
1970	771	380	171	551
1971	531	263	111	374
1972	726	250	152	402
1973	732	264	190	454
1974	733	325	186	511
1975	607	400	143	543

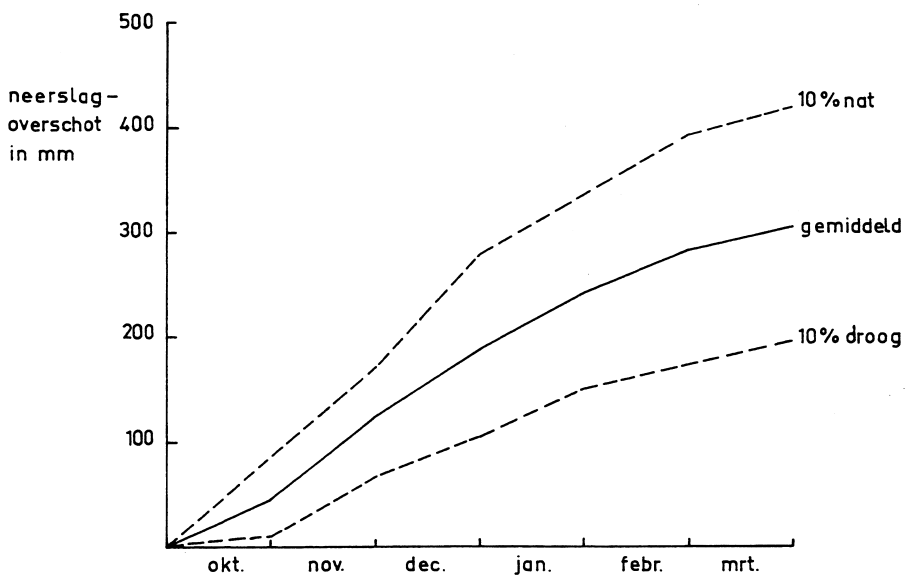


Fig. 3.7. Cumulatief neerslagoverschot gedurende een winterhalfjaar. Berekend uit de neerslag en de potentiële verdamping voor het station Lelystad-Haven 1961–1977 [3-5]

De grondwaterafvoer wordt bepaald door het verloop van neerslag en verdamping. Bij fig. 3.6 wordt aangegeven dat het neerslagoverschot in de winter tot afvoer leidt. Tabel 3.2 geeft enige gegevens van neerslag en verdamping die van belang zijn voor de grondwaterafvoer. In fig. 3.7 staat het cumulatief neerslagoverschot gedurende de

Tabel 3.2. Enige meteorologische gegevens die van belang zijn in verband met de grondwaterstandbeheersing. Neerslag en verdamping in mm. Station Lelystad-Haven, periode 1931–1960 [3-5]

	nov.	dec.	jan.	febr.	maart
Gemiddelde neerslag	82	78	56	48	51
Neerslag (10% overschrijding)	126	135	87	81	79
Gemiddelde potentiële verdamping	7	3	3	9	28
Potentiële verdamping (10% overschrijding)	11	7	6	12	34
Gemiddeld neerslagoverschot	75	75	53	39	23
Neerslagoverschot (10% overschrijding)	117	131	83	72	52

winterperiode aangegeven. In een 10%-natte december-maand (dat is een natte maand die eenmaal in de tien jaar voorkomt) moet ongeveer 4 mm/etm (0,046 m^3/s per km^2) worden afgevoerd. In een gemiddeld jaar komen per wintermaand enkele dagen voor met een neerslag van meer dan 10 mm/etm (0,116 m^3/s per km^2). Op basis van deze gegevens worden afvoernormen geformuleerd voor de grondwaterbeheersing.
Dit wordt verder uitgewerkt in hoofdstuk 5.
Voor de dimensionering van het rioolstelsel en het systeem van open watergangen is inzicht in de intensiteit en grootte van kort durende buien van belang. Voor het ontwerpen van de rioleringssystemen gaat het daarbij om de maximale intensiteiten gedurende korte tijd, ongeveer 1/4 à 1/3 uur. De afvoercapaciteit van de rioolstelsels wordt meestal berekend met een neerslag-intensiteit van 70 à 90 l/s per ha (7 à 9 m^3/s per km^2, 25 à 32 mm/uur). In Nederland heeft zo'n neerslag-intensiteit een herhalingstijd van twee jaar, dat wil zeggen dat de kans van voorkomen eenmaal in de twee jaar is. Het open water in stedelijke gebieden in Nederland vervult heel duidelijk de functie van

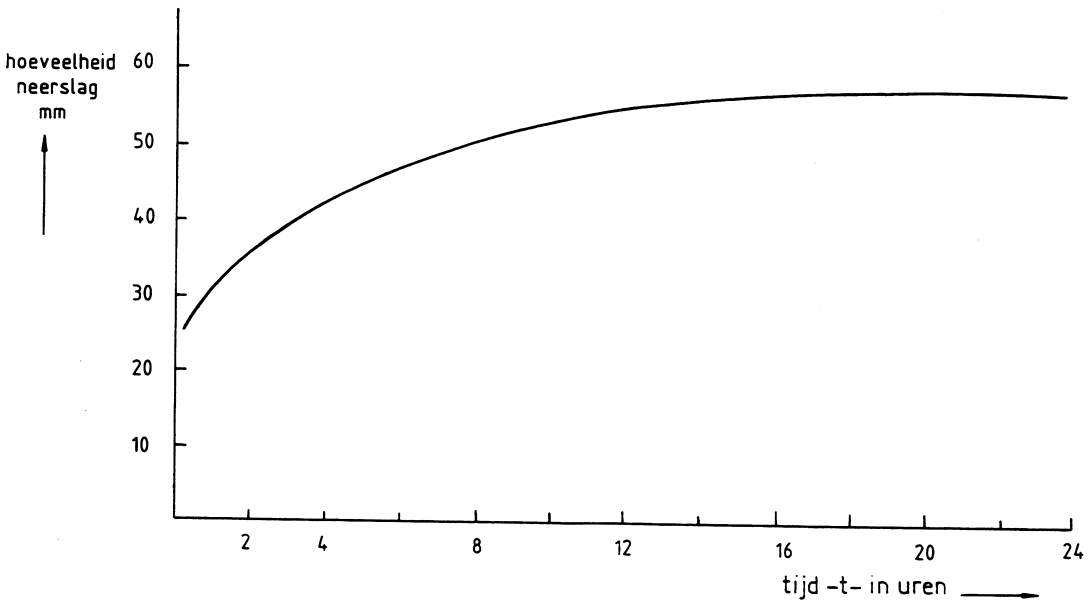


Fig. 3.8. Regenduurlijn

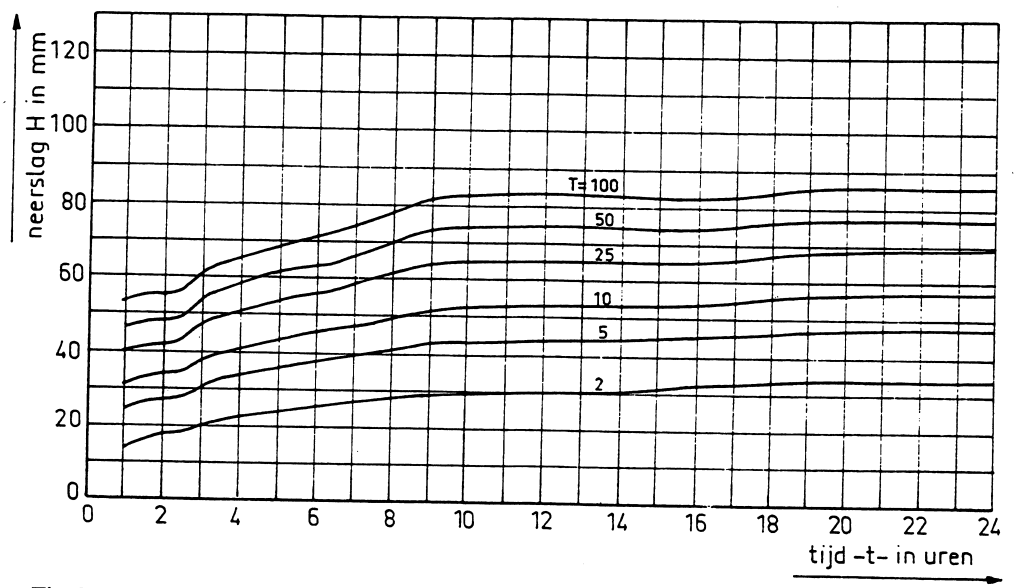


Fig. 3.9. Regenduurlijnen naar Van de Herik, gebaseerd op een bewerking van de 5-minuten-neerslaggegevens [3-7]

bergingsvijver. Van belang bij het bergingsontwerp is de totale hoeveelheid neerslag gedurende een wat langere tijd, 3 tot 24 uur. De bij de bergingsberekening gebruikte neerslaggegevens worden bewerkt tot regenduurlijnen. Een regenduurlijn geeft de maximaal te verwachten hoeveelheid neerslag gedurende een bepaalde tijd vanaf het begin van een bui, met een bepaalde kans van optreden. Fig. 3.8 geeft het principe van de regenduurlijn. Een regenduurlijn wordt geconstrueerd met de uitkomsten van een statistische bewerking van neerslaggegevens. Dat betekent dat afhankelijk van de gegevens en afhankelijk van de bewerking regenduurlijnen kunnen verschillen. De laatste jaren worden veelal de regenduurlijnen gebruikt die gemaakt zijn door Van de Herik (fig. 3.9) [3-7]. Deze zijn gebaseerd op een bewerking van 5-minuten neerslaggegevens gemeten in De Bilt. In fig. 3.10 zijn enige in Nederland gebruikte regenduurlijnen weergegeven.

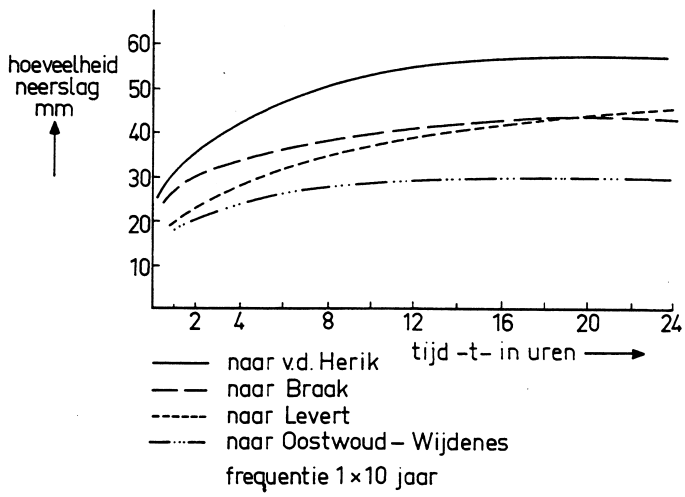


Fig. 3.10. Regenduurlijnen voor Nederland

Voor de maatgevende berekening wordt veelal uitgegaan van de frequentie van 1 × per 10 jaar, waarbij controleberekeningen worden uitgevoerd voor 1 × per 1 jaar en voor 1 × per 25 of 50 jaar [3-6]. Maatgevende omstandigheden voor het open water ontstaan dus door buien met een duur van enkele uren tot één dag. Het gaat daarbij om neerslaghoeveelheden van 450–550 m^3 per ha (45 à 55 mm) gedurende 3 à 24 uur (hoofdstuk 6). Benadrukt moet worden dat de figuren 3.9 en 3.10 theoretische regenkrommen geven, dat wil zeggen, er wordt geen werkelijk waargenomen regen gegeven, maar een omhullende van werkelijk opgetreden regens. Dit betekent dat men slechts één eigenschap van een regenkromme een bepaalde herhalingstijd mag toekennen, bijvoorbeeld de hoeveelheid neerslag in een bepaalde tijd sinds het begin van de regenval of de gemiddelde intensiteit tussen twee bepaalde tijdstippen [3-8]. Omdat de meest gebruikte neerslaggegevens gebaseerd zijn op neerslagmetingen in De Bilt is het de vraag of hiermee in heel het land gewerkt kan worden. De vraag doet zich voor of regionale verschillen die in maand- en dagsommen aanwezig zijn, eveneens voor intensieve buien gelden. Deze vraag is nog nauwelijks onderzocht. De intensieve buien worden vaak gekenmerkt door een beperkte ruimtelijke verbreiding en kunnen door de mazen van het regenmeternet vallen.
Zomerse buien hebben, bij eenzelfde frequentie van voorkomen, een iets hogere intensiteit dan de winterbuien. In fig. 3.11 zijn regenduurlijnen voor het zomer- en winterhalfjaar weergegeven. Deze zijn gebaseerd op gegevens van het Stedelijk Wateronderzoek Lelystad. Voor de afvoer van water vanaf het verhard oppervlak moet dus met deze zomerse buien gerekend worden.

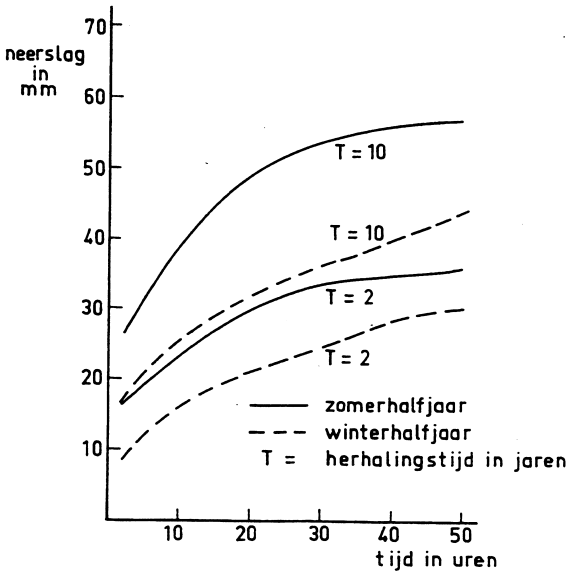


Fig. 3.11. Regenduurlijnen voor het zomer- en voor het winterhalfjaar. Gegevens Stedelijk Wateronderzoek Lelystad. Periode 1968–1977 [3-9]

3.2.4 Verdamping

Ten behoeve van het ontwerpen van het waterbeheersingssysteem in de stad zijn met betrekking tot de verdamping een tweetal aspecten van belang:

- het verdampingsoverschot in de zomer;
- de verdamping na intensieve buien van korte duur.

De verdamping van een vrij wateroppervlak (E_o) kan als uitgangspunt gebruikt worden om een schatting van de potentiële verdamping E_p te maken. E_p is de verdamping uit een kort geschoren grasmat met optimale watervoorziening in de bodem. E_p kan bij benadering worden bepaald via $E_p = f \cdot E_o$, waarbij de waarden voor f empirisch worden bepaald. Voor Nederland is $f = 0{,}6$ à $0{,}8$. De werkelijke verdamping E_w is afhankelijk van de soort begroeiing, het groeistadium, de grondsoort en de beschikbare hoeveelheid water.

De verdampingscijfers vertonen sterke maandelijkse verschillen (fig. 3.6). De waterbehoefte van planten (landbouwgewassen èn begroeiing in parken) doet zich voor in de

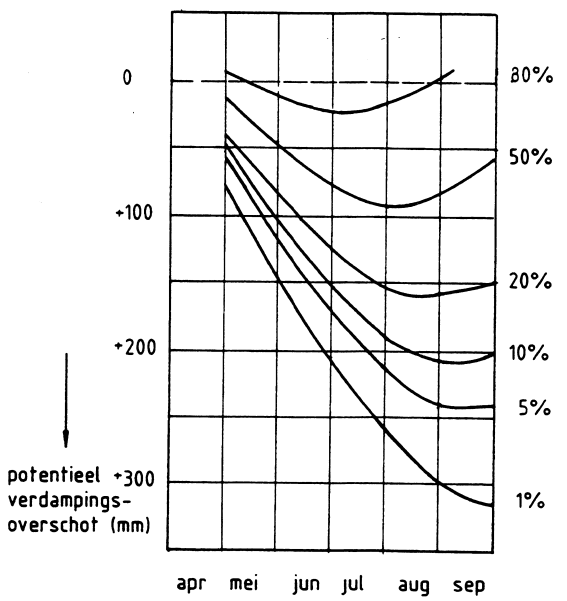


Fig. 3.12. Verdampingsoverschot als functie van de tijd [3-10]

zomer, juist in de periode dat er een verdampingsoverschot bestaat. Het verdampingsoverschot varieert in de loop der jaren. Daarom zijn frequentie-analyses uitgevoerd om de kans te berekenen dat een bepaald tekort optreedt. In fig. 3.12 is het verdampingsoverschot van een gemiddeld jaar en van x%-droge jaren weergegeven. Een 10%-droog jaar heeft een kans van voorkomen van 1 maal per 10 jaar. Eind juli is het gemiddeld verdampingsoverschot ongeveer 90 mm. Het verdampingsoverschot van een 10%-droog jaar bedraagt ongeveer 185 mm. Op basis van deze gegevens kunnen normen worden geformuleerd ten behoeve van de vochtvoorziening van begroeiing in het stedelijk gebied. Dit wordt verder uitgewerkt in hoofdstuk 7.
De neerslag die op het verharde oppervlak valt moet via het rioolstelsel tot afvoer komen. Tijdens de afvoer over het verharde oppervlak kan een deel van de neerslag verdampen. De verdamping wordt in het algemeen verwerkt in de totale verliezen die optreden bij de afvoer. Ook verdampt een deel van het in laagten achtergebleven water. Hierop wordt in een volgende paragraaf van dit hoofdstuk, die over de relatie tussen neerslag en afvoer (par. 3.2.6), nader ingegaan.

3.2.5 Kwel

Eén van de factoren in de waterbalans van een gebied is de kwel.
Kwel kan worden verdeeld in dijks- en diepe kwel.
Dijkskwel treedt op door en onderdoor de dijk, van het hoger gelegen buitenwater naar de directe omgeving van de dijk in de polder (fig. 3.13). De grootte ervan wordt bepaald door de doorlatendheid van het dijklichaam en de daaronder gelegen lagen, door het verval, de kwellengte en de lengte van de waterkering. Indien achter de dijk een dijksloot aanwezig is, zal de kwel voornamelijk daarin terecht komen. De kwel kan worden verminderd door het toepassen van kleikisten en door er voor te zorgen dat een aanwezige waterondoorlatende laag niet doorbroken wordt.

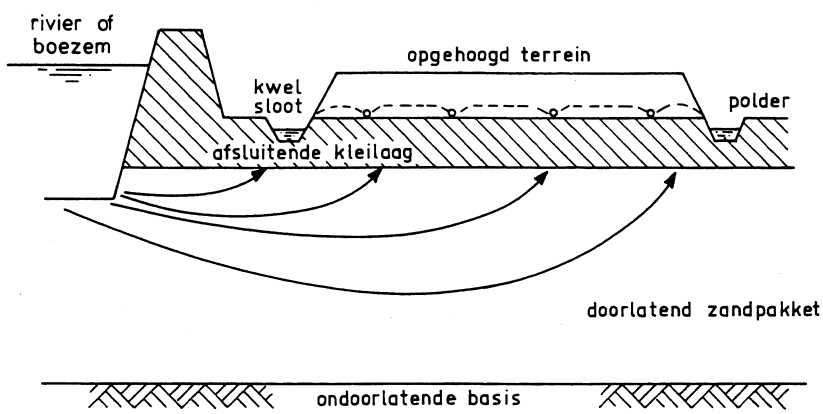


Fig. 3.13. Dijkskwel

Diepe kwel treedt op vanuit de vaak goed doorlatende diepe lagen. Fig. 3.14 geeft een schematisch geo-hydrologisch profiel voor het westelijk deel van Nederland. De diepere ondergrond bestaat uit zand- en grindlagen, welke aan de bovenzijde zijn afgedekt door klei- en veenlagen. Deze afdekkende lagen hebben voor de grondwaterstroming een relatief grote weerstand in vergelijking met de zandlagen. Door diverse natuurlijke oorzaken zijn de polders beneden zeeniveau komen te liggen. Ten gevolge van de noodzakelijke polderbemaling is de potentiaal van het ondiepe grondwater in de slecht doorlatende oppervlaktelagen lager dan de potentiaal van het diepe grondwater in het goed doorlatende zand- en grindpakket. De diepe lagen staan onder invloed van de zee en de grondwaterstanden in het hogere deel van Nederland. Hierdoor bestaat een

potentiaalverschil dat een verticale grondwaterstroming tot gevolg heeft. De vanuit zee gerichte stroming veroorzaakt verzilting van het grondwater. De kwel kan beperkt worden door de afsluitende klei- en veenlagen zoveel mogelijk in stand te houden en door toepassing van een geringere ontwateringsdiepte dan uit een oogpunt van een optimaal bodemgebruik eigenlijk wenselijk is (hoofdstuk 6). Ook treedt kwel op aan de voet van de heuvels. Bij het nemen van maatregelen voor de waterbeheersing van een stedelijk gebied moet terdege met de gevolgen voor de kwel rekening worden gehouden.

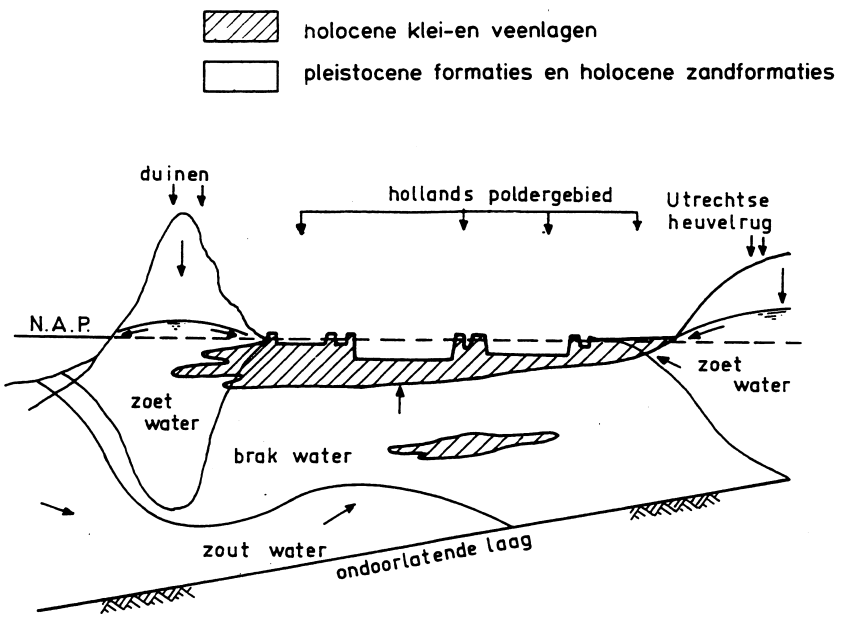


Fig. 3.14. Diepe kwel; schematisch geo-hydrologisch profiel van West-Nederland

3.2.6 De relatie tussen de neerslag en de afvoer bij het verharde oppervlak

Nadat de neerslag gevallen is treden verliezen op en vindt vervorming en vertraging plaats van het neerslagpatroon tijdens de stroming naar het open water. De verliezen die op het verharde oppervlak optreden bestaan uit:

- bevochtigingsverliezen
- berging in laagten
- infiltratie
- verdamping

Er zal een zekere looptijd zijn voordat de neerslag het riool bereikt. In de praktijk wordt deze looptijd bij rioleringsberekeningen verwaarloosd. De verliezen worden benaderd door een reductiefactor toe te passen. De reductiefactor kan bestaan uit een bergingsfactor of een afvloeiingscoëfficiënt:

- Berging op straat (C). De verliezen, de verdamping incluis, worden uitgedrukt in een waterschijf over het verharde oppervlak die niet tot afvoer komt maar van de neerslag wordt afgetrokken. In Nederland wordt met een C gerekend van 0,1 of 3 mm.
- Een afvloeiingscoëfficiënt (α). De afvloeiingscoëfficiënt wordt gedefinieerd als de verhouding tussen de hoeveelheid neerslag die via het rioolstelsel wordt afgevoerd en de hoeveelheid neerslag die op het verharde oppervlak is gevallen (α = 0,8 à 1,0).

Deze reductiefactoren zijn van invloed op de dimensionering van het stelsel van open watergangen. In hoofdstuk 6 wordt dit verder uitgewerkt.

3.2.7 Bodem en water

In een peilbuis, boorgat of put in de grond, mits diep genoeg reikend, stelt zich na enige tijd een waterspiegel in. Het niveau waarop de waterspiegel zich instelt noemt men grondwaterstand of freatisch niveau. Onder het gehele oppervlak komt een grondwaterstand voor. Tezamen vormen deze grondwaterstanden de grondwaterspiegel of het freatisch vlak. In het freatisch vlak is de druk van het bodemvocht gelijk aan de atmosferische druk; de vochtspanning is er nul. Onder de grondwaterspiegel, in het grondwater, is de druk hoger dan de atmosferische druk. In dit gebied van de verzadigde zone spelen zich de grondwaterstromingen af. Ook boven de grondwaterspiegel is water aanwezig. In het bodemprofiel kan water worden vastgehouden tegen de werking van de zwaartekracht in. Van de bindende krachten die hierbij een rol kunnen spelen zijn de capillaire en de cohesie-krachten het belangrijkste. De capillaire krachten komen tot uiting in een holle meniscus van het water aan het water–lucht grensvlak in nauwe capillaire ruimten (poriën).

Door de werkzaamheid van de krachten staat het water in de nietverzadigde zone onder een zuigspanning of onderdruk. Het water boven het freatische vlak noemt men bodemvocht. In de onverzadigde zone vindt de stroming van het bodemvocht plaats. Een deel van de neerslag zakt min of meer verticaal in de bodem tot het zich verenigt met het grondwater en stroomt naar de ontwateringsmiddelen. De mate en snelheid van inzijgen hangt af van de poriënverdeling en het vochtgehalte van de grond. Er vindt dan een stijging van de grondwaterspiegel plaats. Deze stijging hangt af van het actuele vochtgehalte, de poriënverdeling en het bergend vermogen van de grond. In veel gronden is de bergingcoëfficiënt tussen 5 en 10%. Dat wil zeggen dat een verhoging van de grondwaterstand optreedt van 20, respectievelijk 10 maal de aangevoerde neerslag. Voor stedelijke bestemmingen worden eisen gesteld aan de drooglegging ofwel de diepte van de grondwaterstand, dat is het verschil tussen hoogste grondwaterspiegel en het maaiveld. In de praktijk wordt een drooglegging van 0,60 à 1,00 m geëist (hoofdstuk 5). Stedelijke uitbreidingen moeten, vooral in het westen van Nederland, worden gerealiseerd in gebieden met een slechte ontwateringstoestand. Tabel 3.3 geeft een overzicht van de grondwaterspiegel in Nederland in de periode 1952–1955.

Tengevolge van verbeteringen in de drainage is sinds die tijd het oppervlak met de natste klassen kleiner geworden.

Tabel 3.3. Diepte van de grondwaterspiegel onder het maaiveld (in cm) in Nederland (% van het totale oppervlak)

Diepteklassen	0–20	20–40	40–70	70–100	100–400	140–200	>200
In de winter	24	25	27	11	7	3	3
In de zomer	0	1	14	19	28	27	11

Door deze hoge grondwaterstanden en door de neerslag die in de winter groter is dan de verdamping, zijn zowel tijdens als na de bouwfase maatregelen nodig om de grondwaterstand voldoende diep te houden. Dit onderwerp wordt uitgewerkt in hoofdstuk 5.

Boven de grondwaterspiegel is water aanwezig, het bodemvocht. De bodem bestaat hier uit een drie-fasen systeem: de vaste fase (grond), de vloeibare (water) en de gasvormige fase (lucht) (fig. 3.15). Beneden de grondwaterspiegel zijn er slechts twee fasen: grond en water. Normale gewassen (planten, bomen) hebben in de wortelzone de drie fasen nodig, moerasplanten kunnen het stellen zonder bodemlucht. De vaste stof dient voor de verankering en het leveren van de voedingsstoffen, het water dient voor de groei en transpiratie. Met het water worden de voedingsstoffen opgenomen. De lucht is nodig voor de opname van het water met de voedingsstoffen en voor de wortelgroei. Op de voedingsstoffen en de gewasgroei wordt niet verder ingegaan. Hier gaat het over de

waterbeheersing ten behoeve van het gewas (beplanting). Twee facetten van het water zijn in dit verband van belang:
- het zorgen voor voldoende water in de onverzadigde zone om de groei van de beplanting mogelijk te maken;
- het zorgen voor een voldoende diepe waterstand waardoor er voldoende lucht in de onverzadigde zone is en de temperatuur voldoende hoog is om de groei van de beplanting mogelijk te maken.

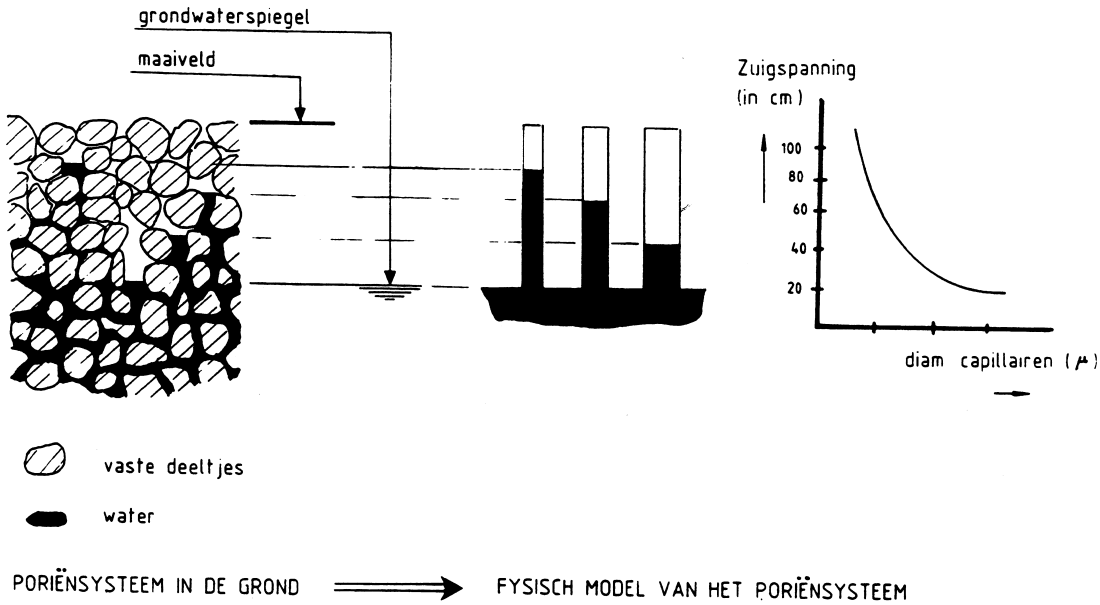


Fig. 3.15. Drie-fasensysteem in de bodem (poriën voorgesteld als buisjes)

Zoals in de vorige paragraaf is uiteengezet is er in de zomer een verdampingsoverschot. In de groeiperiode moet de plant het water halen uit het bodemvocht. Juist in grovere zandgronden, die vaak gebruikt worden om stedelijke gebieden op te hogen, is de hoeveelheid beschikbaar bodemvocht gering en is de mogelijkheid om vocht via capillaire opstijging uit het grondwater aan te voeren klein. In dergelijke gevallen moet een profielverbetering worden toegepast waarbij bijvoorbeeld zwarte grond wordt aangebracht. Dit onderwerp wordt verder uitgewerkt in hoofdstuk 7.

3.3 De waterstaatkundige opbouw van Nederland

3.3.1 Inleiding

Waterstaat wordt wel omschreven als de van nature aanwezige en de kunstmatige infrastructuur, dienende tot beveiliging, behoud, gebruik, uitbreiding en ontsluiting van het grondgebied, bodem zowel als water.
De waterstaatszorg omvat:
- de zorg voor de waterkeringen;
- de zorg voor de waterhuishouding;
- de zorg voor land- en vaarwegen.

Dit hoofdstuk beperkt zich tot de waterhuishouding en dan nog speciaal tot de stedelijke waterhuishouding. Waterhuishouding wordt gedefinieerd als het geheel van onderzoekingen, technische werken en bestuurlijke maatregelen, dat nodig is om tot doelmatige kwantitatieve en kwalitatieve beheersing van het aanwezige water te komen. Door Van der Kerk [3-11] wordt beschreven hoe voor de Tweede Wereldoorlog in de polders en bedijkte waterschappen de zorg voor de waterhuishouding zich beperkte tot een vrij ruwe regeling van de waterstand binnen die gebieden door middel

van waterlozing. In de gebieden met vrij afstromend water was er van eigenlijke zorg weinig sprake. Men raakte het water kwijt in de mate waarin 'natuurlijke' gesteldheid van het terrein en de enigszins verbeterde beken dat mogelijk maakte. In de jaren voor de Tweede Wereldoorlog zetten zich al ontwikkelingen in gang die een betere beheersing van de afwatering mogelijk maakten. Ruilverkavelingen kwamen tot stand, de eerste IJsselmeerpolders werden aangelegd en hiermee samenhangend ontwikkelde de landbouwwetenschap zich snel. Deze ontwikkelingen deden zich voor in het polderland, zowel als in de hellende gebieden.
In de loop der jaren bleek de watervoorziening steeds belangrijker te worden. Zo richt de nota 'De Waterhuishouding van Nederland' zich in hoofdzaak op de watervoorziening, evenals in de PAWN-studie (Policy Analysis of the Watermanagement in the Netherlands) [3-12, 3-13]. Nog algemener gesteld kan men constateren dat er in de loop van de laatste decennia vele en soms tegenstrijdige belangen bij het waterbeheer betrokken zijn:
- verwijdering van afvalwater;
- drinkwatervoorziening;
- industriële watervoorziening;
- watervoorziening voor de land- en tuinbouw;
- koelwatervoorziening;
- tegengaan van verzilting;
- exploitatie van bodemschatten;
- natuurbehoud;
- recreatie;
- scheepvaart;
- visserij;
- regulering waterpeil.

De organisatie om dit complexe beheersprobleem aan te pakken wordt besproken in paragraaf 3.4. Eerst wordt nader ingegaan op de beschrijving van de verschillende waterstaatkundige eenheden in Nederland.

Er zijn weinig landen waar de landschappen zo sterk zijn beïnvloed door ingrepen van de mens als Nederland, vooral met betrekking tot de waterstaat [3-14, 3-15]. De waterhuishoudkundige hoofdstructuur wordt gevormd door de Rijntakken Waal, IJssel en Nederrijn en door de Maas, samen met het IJsselmeer, de Deltameren en het Amsterdam-Rijnkanaal-Noordzeekanaal. Een korte bespreking van de waterstaatkundige opbouw van Nederland wordt van belang geacht in verband met het feit dat stedelijke ontwikkeling tot verdere ingrepen in het bestaande systeem leidt, waarbij men dat bestaande systeem moet kennen.
Bij de waterstaatkundige opbouw wordt altijd een onderscheid gemaakt tussen *polderland* en *hellende gebieden.*

3.3.2 Polderland

Een groot deel van Nederland is polderland (fig. 3.16). In het noorden van Nederland woonden reeds lang geleden mensen op terpen, ter bescherming tegen overstromingen. Tussen de terpen maakte men vanaf ongeveer het jaar 1000 verhoogde verbindingswegen. Daar waar deze dijken een gesloten ring vormden ontstond een polder. Nadat in de middeleeuwen in het noorden een bedijkte kustlijn was ontstaan werden brede stroken aangeslibt land telkens weer ingedijkt, zodat een aantal langwerpige, oost-west georiënteerde polders ontstonden. In het Utrecht-Hollandse veengebied vond de eerste bewoning plaats op de hogere, stevige oevers van riviertjes en kreken. Vanaf deze hogere delen werden de venen ontwaterd, met behulp van evenwijdige sloten loodrecht op de ontwateringsbasis (het riviertje) (fig. 3.17). Eerst vond de ontginning in een strook langs de riviertjes plaats, later ook meer binnenwaarts gelegen. Zo ontstonden rijen

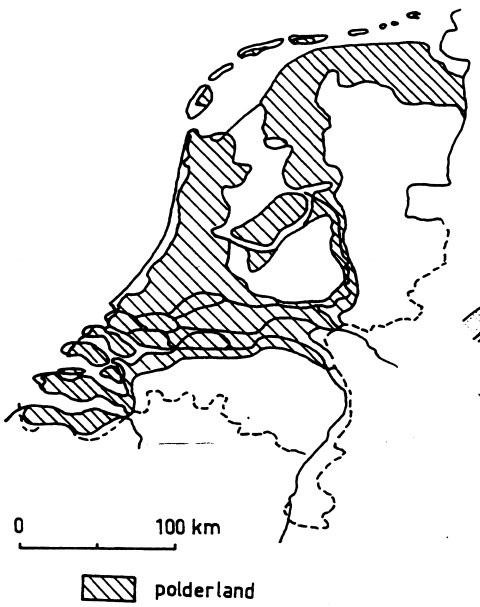


Fig. 3.16. Het voorkomen van polders in Nederland

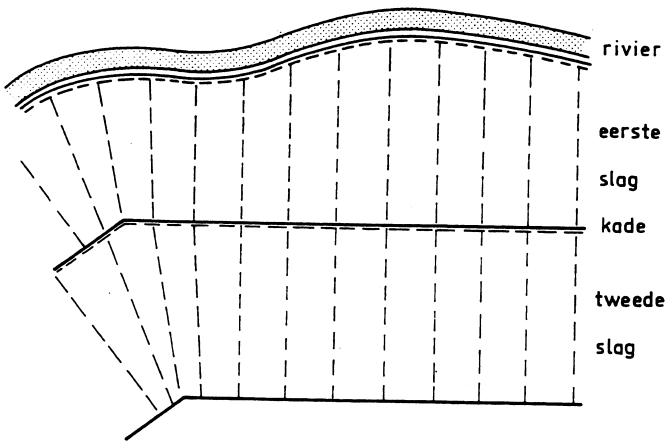


Fig. 3.17. Het slagenlandschap

evenwijdige polders, de zogenaamde slagen. Aanvankelijk vond er alleen ontwatering plaats. Ten gevolge van deze ontwatering trad inklinking van klei en veen op. Deze inklinking, te zamen met zeespiegelrijzing, bracht het maaiveld tot beneden het niveau van de ontwateringsmiddelen.
De ontwateringsbasis moest worden bedijkt en het overtollige water moest via hoosschop, paardemolen en later windmolen uit het gebied worden gemalen.
Grote delen van het veen werden afgegraven als brandstof (turf) of verbrand in verband met de vruchtbaarheid, zodat meren en moerassen ontstonden. Regionale beheerseenheden werden noodzakelijk in verband met de afdamming van de rivier- en kreekmondingen, ter bescherming tegen hoge buitenwaterstanden. De afvoer van het water naar het buitenwater vond gedurende laag water door middel van spuisluizen plaats. Binnen het dijkensysteem ontstond een netwerk van waterlopen en plassen voor de afvoer van het water uit de polders en voor de berging van het water als bij hoog buitenwater de afvoer gestremd was. Dit regionale afvoer-bergingsstelsel heet boezem.

Sinds de introductie van de windmolen werd het mogelijk meren en plassen droog te malen. Ten gevolge van het ontstaan van deze droogmakerijen, vooral in de 16e en 17e eeuw, nam de waterbelasting op het boezemsysteem toe en nam het bergend oppervlak af. Door de droogmaking van de Haarlemmermeer verloor bijvoorbeeld Rijnland 80% aan boezemoppervlak. Deze ontwikkeling leidde in de loop van de tijd tot de volgende maatregelen:
- aanleg van meer afvoerpunten van boezem naar buitenwateren;
- kunstmatige lozing vanuit de boezem naar buitenwateren door achtereenvolgens windmolens en stoom-, diesel- en elektrische gemalen;
- instelling van een zogenaamd maalpeil, een maximum waterpeil in de boezem. Als het maximum waterpeil in de boezem bereikt wordt moeten de polders stoppen met het op de boezem uitslaan van water. Het water moet verder geborgen worden in de watergangen en de bodem van de polder.

De volgende begrippen zijn in het polderland van belang:
Boezem: Een stelsel van met elkaar in open verbinding staande vaarten en

kanalen waarop inliggende polders hun overtollige water lozen en waaruit deze polders hun benodigde water kunnen betrekken. Het door de polders geloosde water wordt tijdelijk in de boezem geborgen, alvorens het naar zee afgevoerd wordt.

Polder: Een vlak gebied dat afgescheiden is van het omringende hydrologisch regime om het peil van het grondwater en het oppervlaktewater onafhankelijk van de omgeving te kunnen beheersen.

Boezemland: Het gebied dat op natuurlijke wijze afvoert naar de boezem.

Polderpeil: De waterstand die men in de polder tracht te handhaven. Veelal heeft de polder een zomerpeil en een winterpeil. In stedelijke gebieden spreekt men veelal van grachtpeil of singelpeil.

Buitenwater: De zee en de rivieren die op natuurlijke wijze afvoeren naar de zee.

Keur: Verordening waarin de ge- en verboden van een bepaald waterschap aangaande zijn belangen staan vermeld.

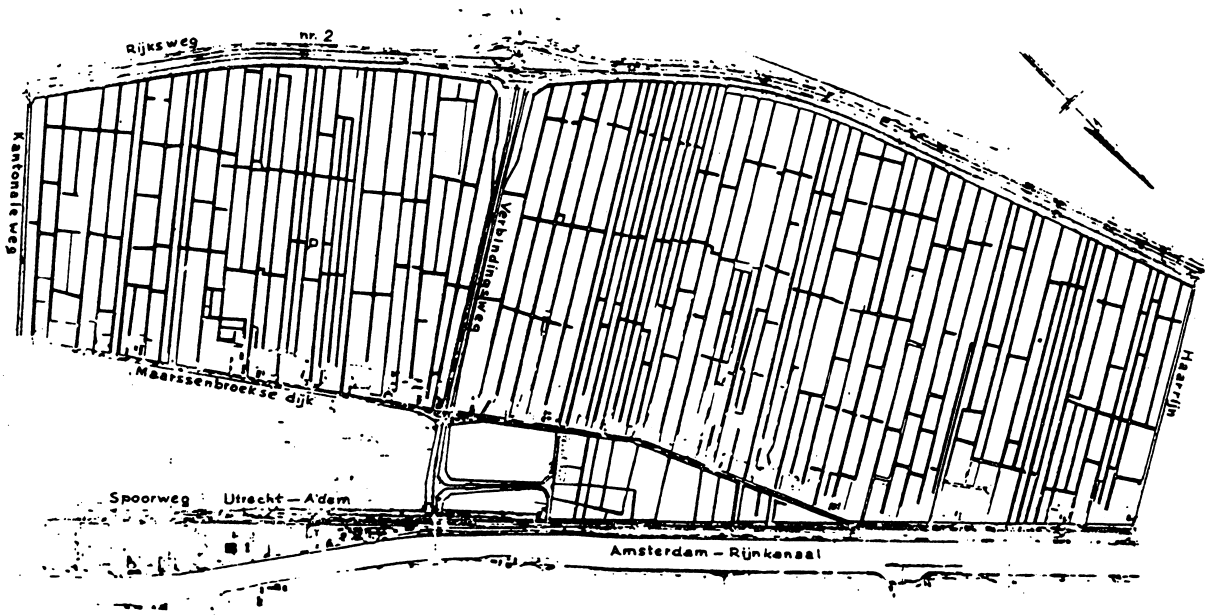


Fig. 3.18. Een landelijk poldersysteem

Tabel 3.4. Enige algemene gegevens over regionale waterbeheersingseenheden in West-Nederland [3-16]

Waterbeheersers	Delfland	Schieland	Rijnland	Amstelland	Uitwaterende Sluizen van Kennemerland
Totaal oppervlak (ha)	37.600	7.700	114.800	30.960	78.764
Oppervlak van de boezem (ha)	680	170	4.300	560	1.850
Percentage boezemwater van het totale oppervlak	1,80	2,20	3,75	1,80	2,35
Toelaatbare peilstijging (cm)	15	30	25 à 30(2)	55	50
Oppervlakte Boezemland					
– totaal (ha)	8.480	40	17.300	1.200	8.533
– stedelijk verhard oppervlak (ha)	2.000	–	2.350	480	500
– landelijk verhard oppervlak (ha)(1)	2.800	–	1.500	–	–
– onverhard gebied (ha)	3.680	40	14.450	720	8.033
Oppervlakte Poldergebieden (ha)	28.440	7.490	90.400	29.200	65.346
Duinen	–	–	1.800	–	3.035
Totale gemaalcapaciteit (m^3/min)	2.400	900	9.280	1.800	4.000

(1) voornamelijk kassen.
(2) gezien de toestand van de dijken wordt niet meer toegestaan dan 9 cm peilstijging.

Enkele gegevens over enige regionale waterbeheersingseenheden staan vermeld in tabel 3.4. De figuren 3.18, 3.19, 3.20 en 3.21 illustreren het voorgaande.
Polders die niet via een boezemsysteem afwateren treft men aan in Zuid-West Nederland, in het riviergebied en de IJsselmeerpolders. In Zuid-West Nederland worden de polders bemalen naar buitenwater. In het rivierengebied en in de IJsselmeerpolders is het peil van het hoofdafwateringssysteem lager dan de sloten en kan vrij worden afgevoerd, eventueel zelfs met droogvallende sloten.
De afvoer van het overtollig water uit een polder kan geschieden door natuurlijke of vrije lozing of door bemaling. Natuurlijke lozing geschiedt door uitwateringssluizen naar het buitenwater of via stuwen naar de boezem. Uitsluitend vrije lozing komt in laag Nederland niet veel meer voor. Bemaling van een polder geschiedt door middel van een gemaal rechtstreeks op het open water of op de boezem.

3.3.3 Hellende gebieden

Zonder in te gaan op een preciese definiëring wordt het hellende gebied omschreven als alle niet-poldergebieden (fig. 3.16). De hellende gebieden in Nederland bestaan uit redelijk tot goed doorlatende zandgronden met een grote infiltratiecapaciteit. Dit, gecombineerd met de gematigde neerslagintensiteit, maakt dat nagenoeg alle neerslag in de ondergrond dringt en via het grondwater tot afvoer komt. Slechts in delen van Zuid-Limburg is sprake van oppervlakkige afstroming. Het primaire reliëf, dat is het niet-gestuwde zandgebied, is onvoldoende om het neerslagoverschot als grondwaterstroming af te voeren. Dit heeft tot gevolg gehad dat zich een afwateringssysteem heeft ontwikkeld in de vorm van beken in de richting van de primaire helling [3-17]. De

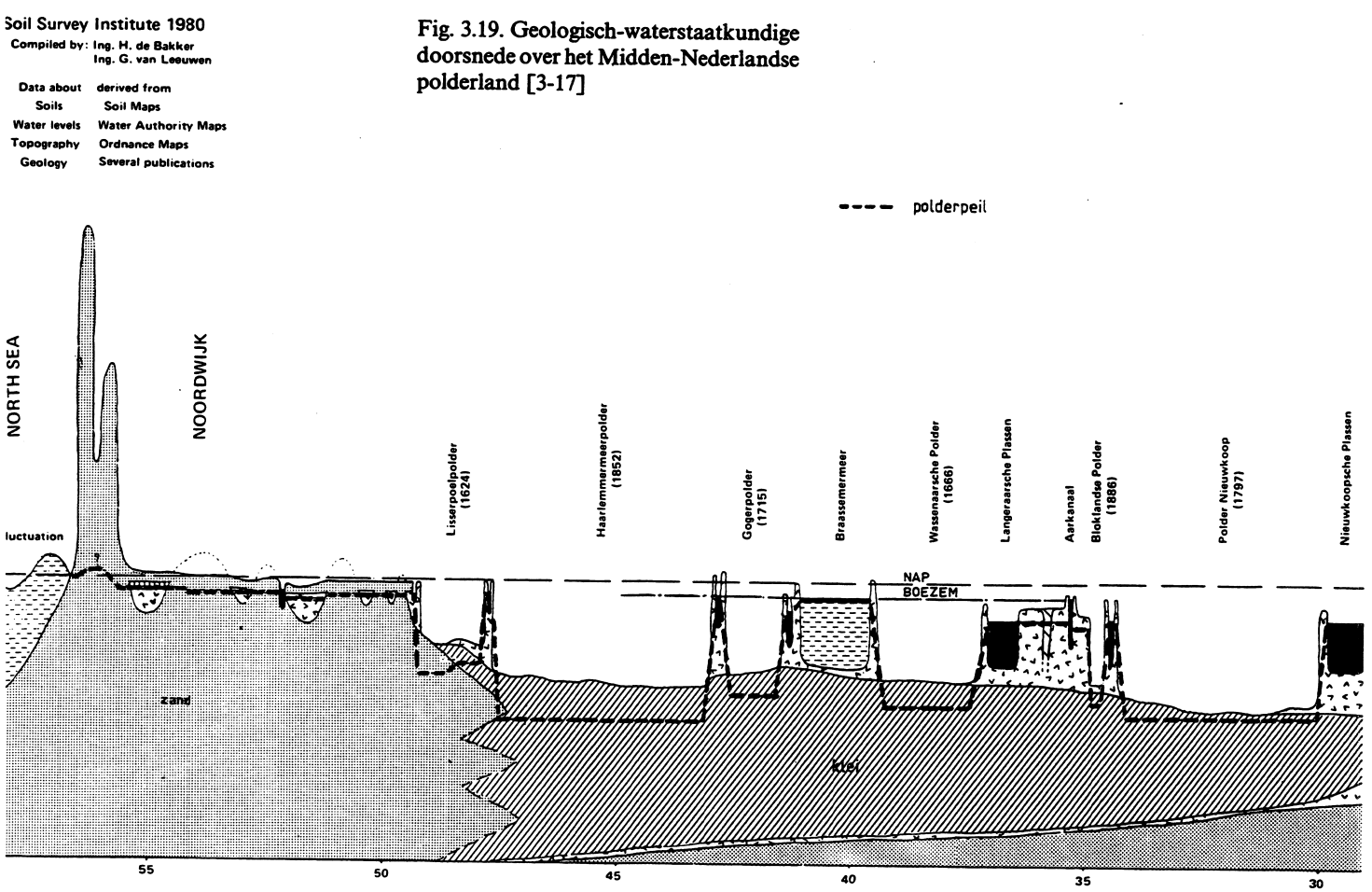
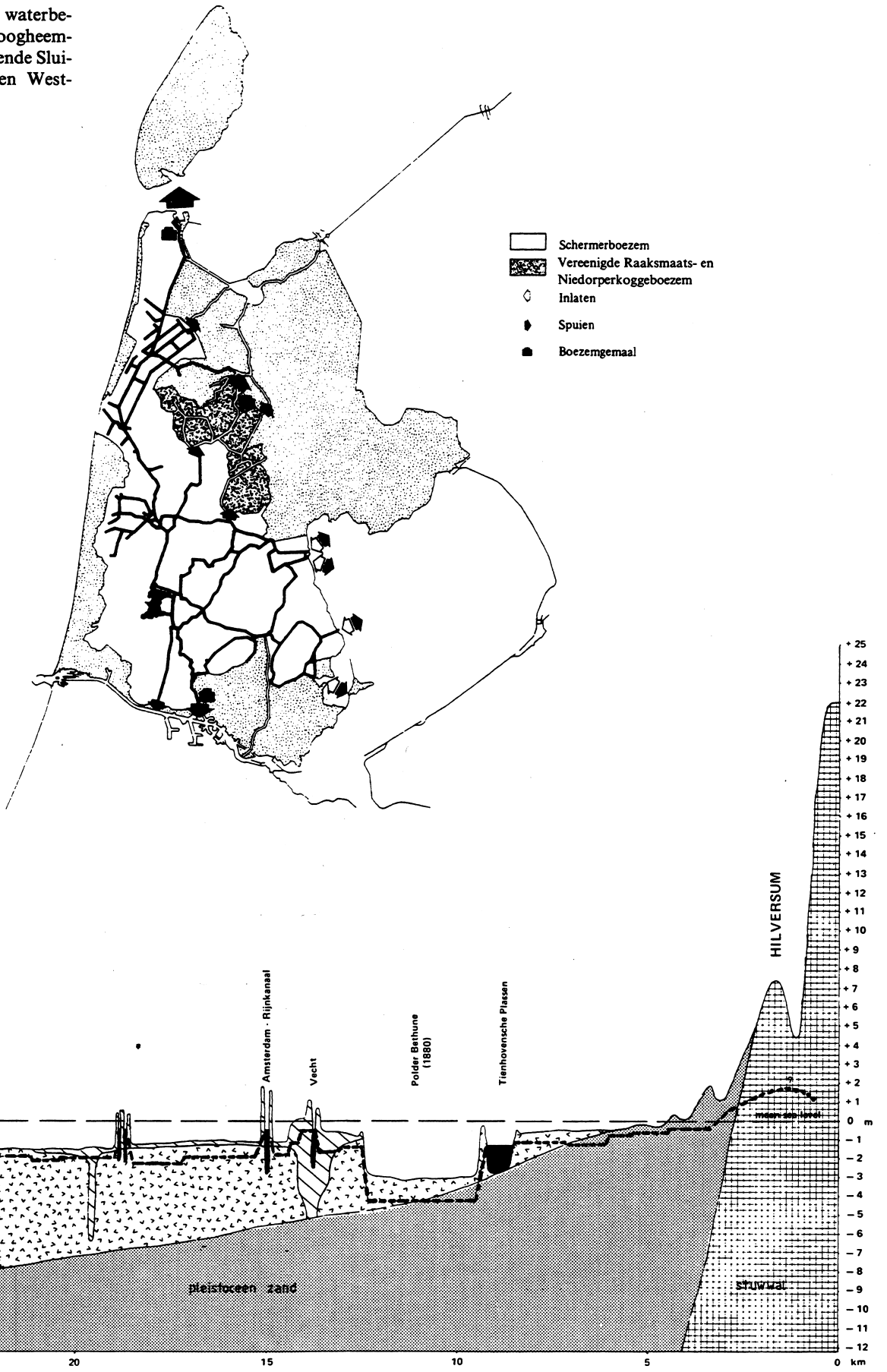


Fig. 3.19. Geologisch-waterstaatkundige doorsnede over het Midden-Nederlandse polderland [3-17]

Fig. 3.20. Een regionale waterbeheersingseenheid: Hoogheemraadschap 'De Uitwaterende Sluizen in Kennemerland en West-Friesland'



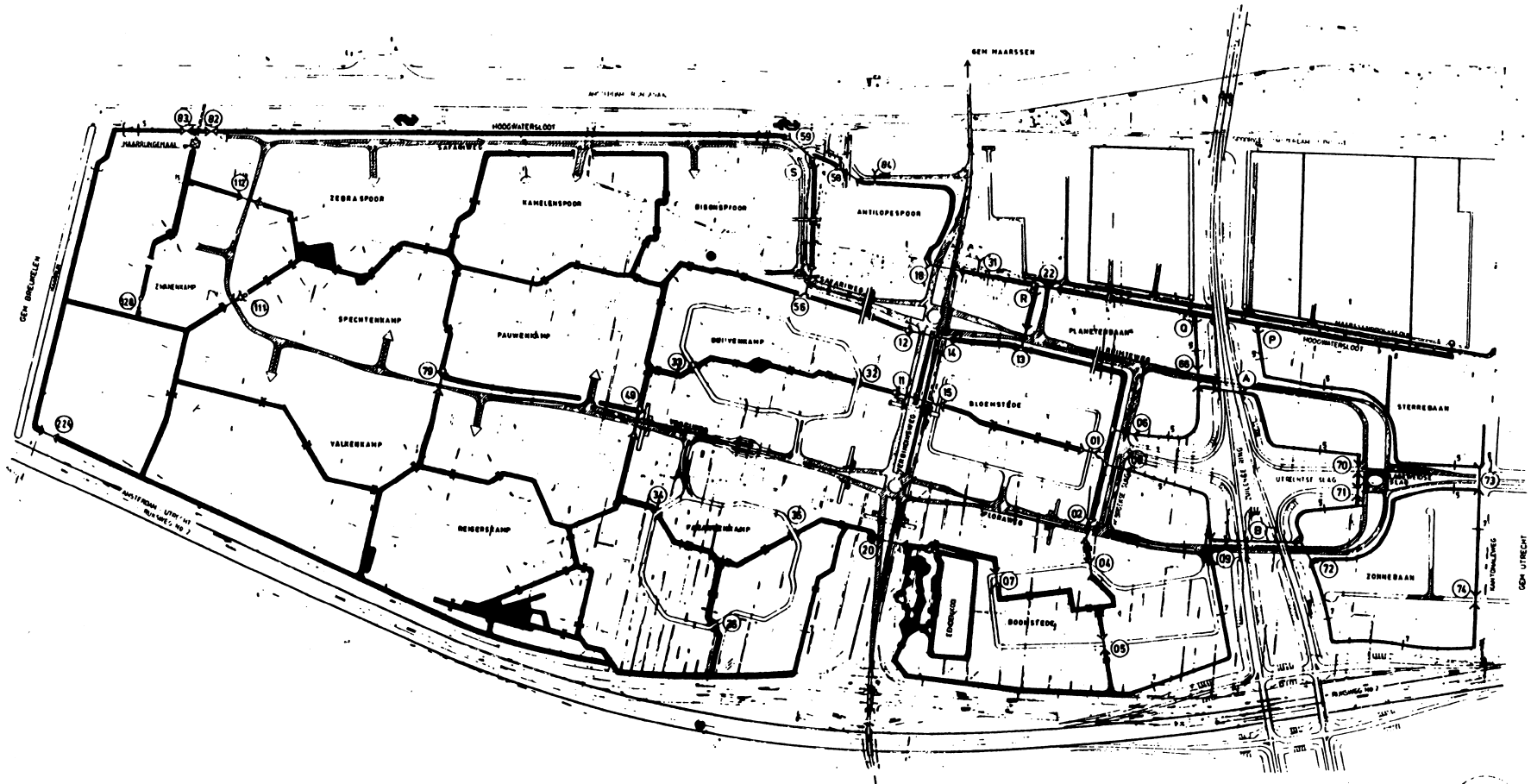


Fig. 3.21. Een stedelijk poldersysteem

hiërarchische opbouw van zo'n systeem is weergegeven in fig. 3.22. Gebieden met meer reliëf, zoals duinen en stuwheuvels, zijn wel in staat zonder beken het neerslagoverschot af te voeren als grondwater. Dit grondwater treedt als kwel uit aan de voet van de heuvels. In fig. 3.23 is een schematische doorsnede loodrecht op een beekdal gegeven met daarin de winter- en zomergrondwaterstand. De Jager onderscheidt in deze doorsnede drie gebieden [3-18]:

- Het lage gebied. Het maaiveld is laaggelegen ten opzichte van het peil in de beek en de grondwaterstand is hoog. Het is veelal een kwelgebied. Een intensieve ontwatering is nodig en men treft er dan ook veel sloten aan. Er is in dit gebied een geringe berging voor water aanwezig. Daardoor wordt de neerslag relatief snel afgevoerd.
- Het hoge gebied. Zowel in de zomer als in de winter ligt het maaiveld hoog ten opzichte van het peil in de beek en ook ten opzichte van de grondwaterstand. Beken of sloten voor detailontwatering komen in dit gebied niet voor. Waterafvoer vindt gedurende het gehele jaar plaats via de diepere ondergrond. Deze afvoer wordt de basisafvoer genoemd. Deze basisafvoer is te beschouwen als de langzame afvoercomponent van een hellend gebied.

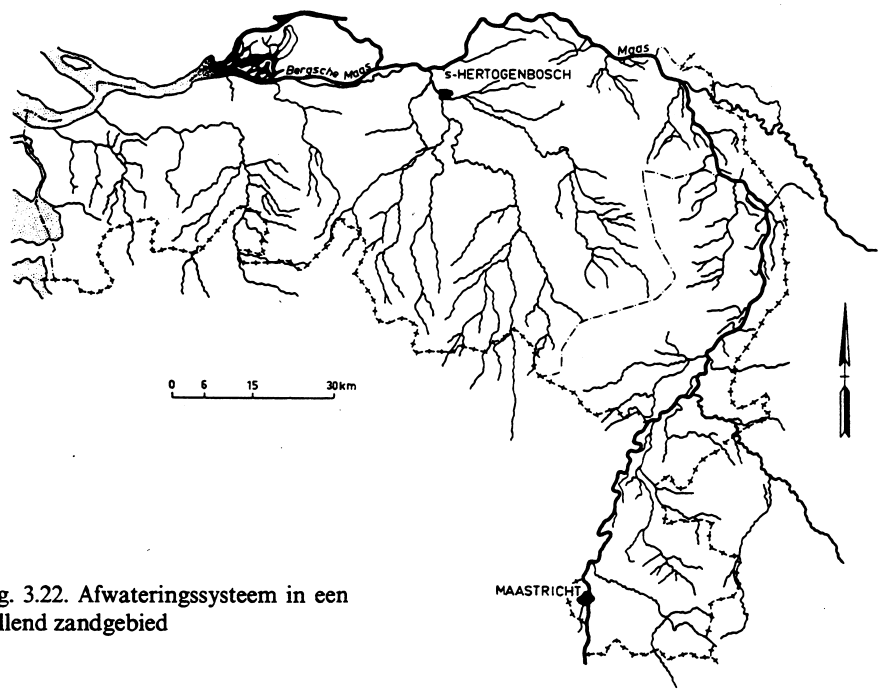


Fig. 3.22. Afwateringssysteem in een hellend zandgebied

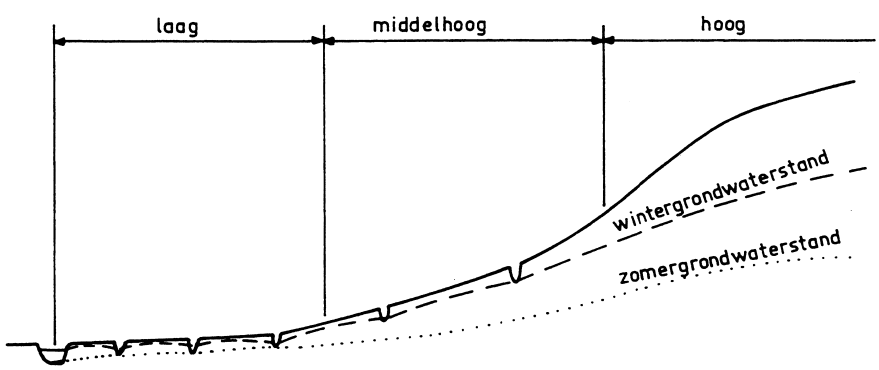


Fig. 3.23. Dwarsdoorsnede van een beekdal

- Het middelhoge gebied. De grondwaterstanden zijn aan het eind van de zomerperiode vrij diep ten opzichte van het maaiveld. Er is voldoende berging in de grond aanwezig om de winterneerslag op te vangen. Toch stijgt op den duur de grondwaterstand zo hoog ten opzichte van het maaiveld dat in dit gebied sloten voor de ontwatering nodig zijn en dit gebied ook bijdraagt aan de snelle grondwatercomponent van de afvoer.

In hellende gebieden is sinds vele jaren ingegrepen in het waterhuishoudkundig systeem. De volgende maatregelen zijn in de loop der jaren uitgevoerd [3-18]:
- het verruimen van watergangen ter vergroting van de afvoercapaciteit;
- het aanleggen van stuwen ter regulering van de afvoer, met als doel het handhaven van voldoende hoge peilen;
- het bouwen van gemalen daar waar de natuurlijke lozing te wensen overlaat;
- het bekaden van waterlopen om overstromingen te voorkomen.

De uitgevoerde maatregelen bleken na verloop van tijd niet meer voldoende. Eerst waren het vooral de veranderingen ten gevolge van de voortgaande ontginningen en ingebruikneming van woeste gronden. Later waren het hogere eisen ten gevolge van de intensivering van de landbouw die verdere aanpassing van het waterbeheersingsstelsel tot gevolg hadden.

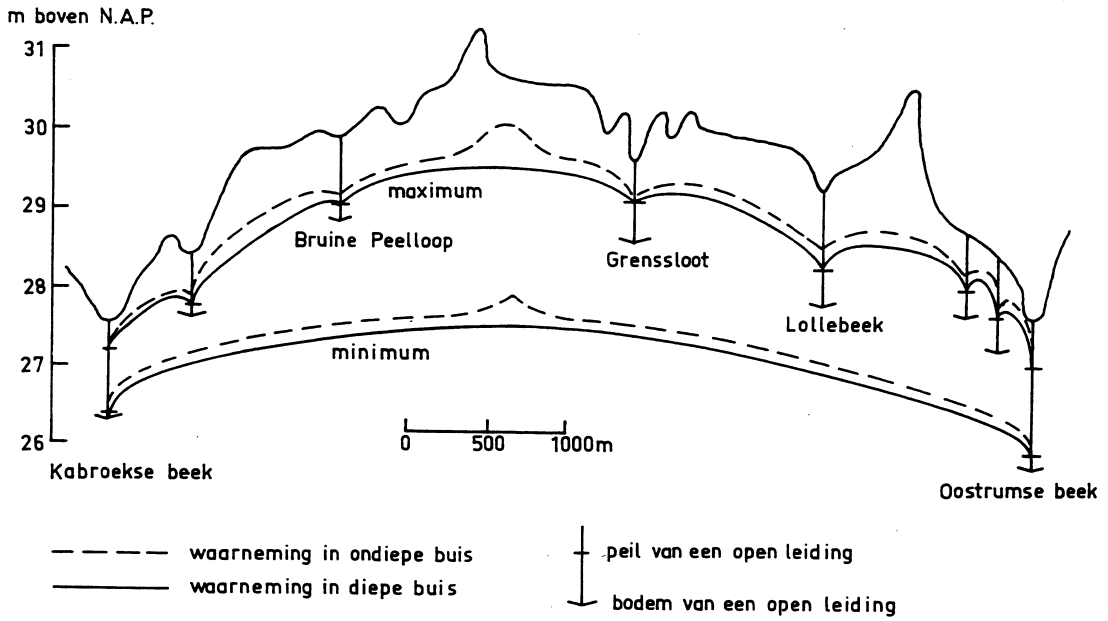


Fig. 3.24. Geologisch-waterstaatkundige dwarsdoorsnede over het hellende gebied in Nederland [3-18]

De figuren 3.24 t.m. 3.26 illustreren het voorgaande.
Peilbeheersing is gewenst ten behoeve van de vochtvoorziening van de gewassen in de zomerperiode. Er bestaat in deze zandgronden een nauwe relatie tussen de grondwaterstand en de gewasproduktie. De grondwaterstand wordt op haar beurt sterk beïnvloed door het peil in de waterlopen. In gebieden met een natuurlijke afstroming zijn de waterstanden in de watergangen in het voorjaar en de zomer lager dan gewenst wordt. Wil men de gewenste zomerwaterstanden toch bewerkstelligen dan moeten stuwen worden geplaatst, de zogenaamde landbouwstuwen (fig. 3.27).
Naast dergelijke landbouwstuwen kent men ook zogenaamde waterstaatkundige of technische stuwen. De stroomsnelheid in een leiding wordt in sterke mate bepaald door het verhang. Mag de stroomsnelheid niet te hoog worden, dan zal in een sterk hellend terrein het bodemverhang kleiner moeten worden gemaakt dan het terreinverhang

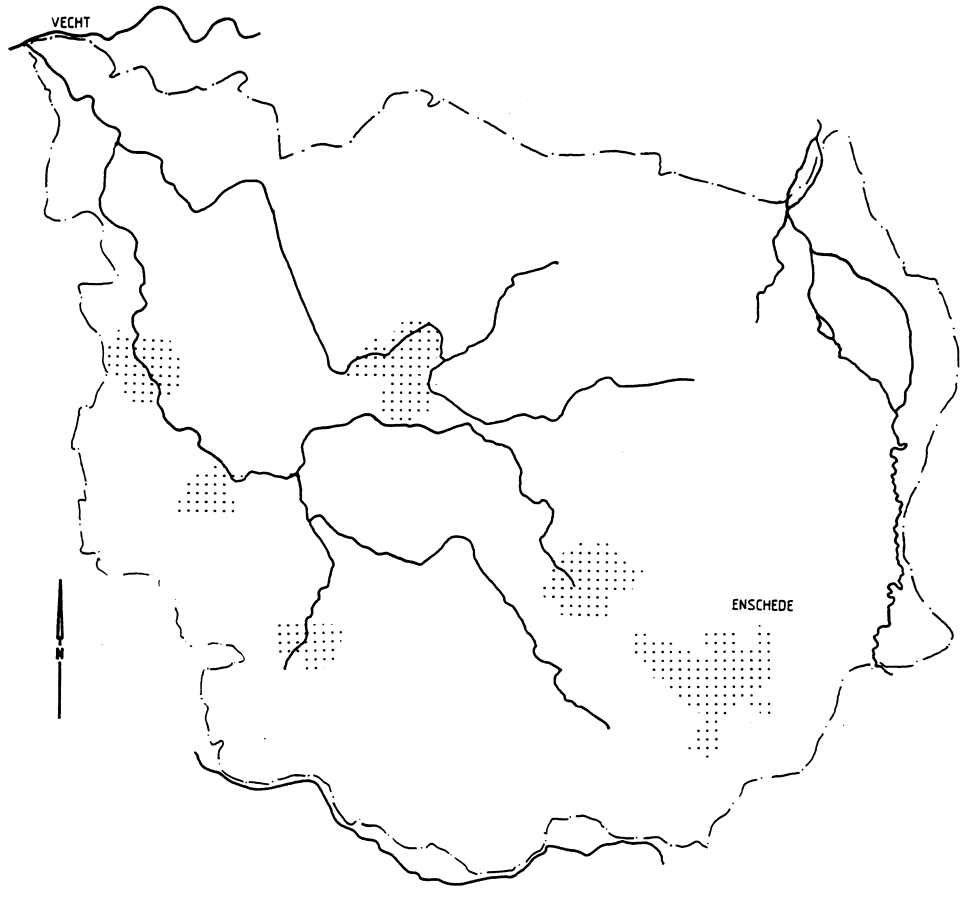


Fig. 3.25. Een regionale waterbeheersingseenheid: waterschap Regge en Dinkel

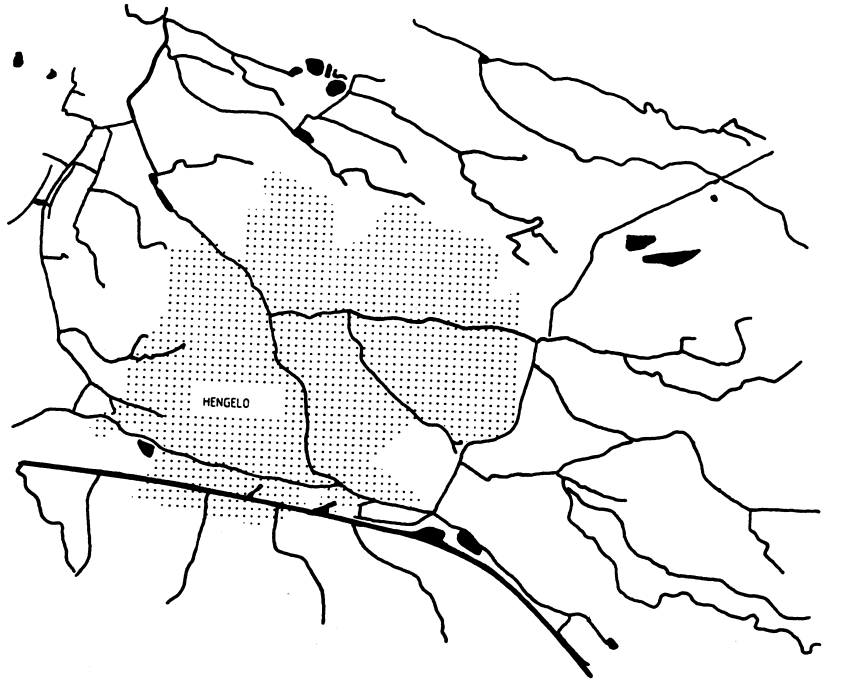


Fig. 3.26. Een stedelijk watersysteem in hellend Nederland: Hengelo

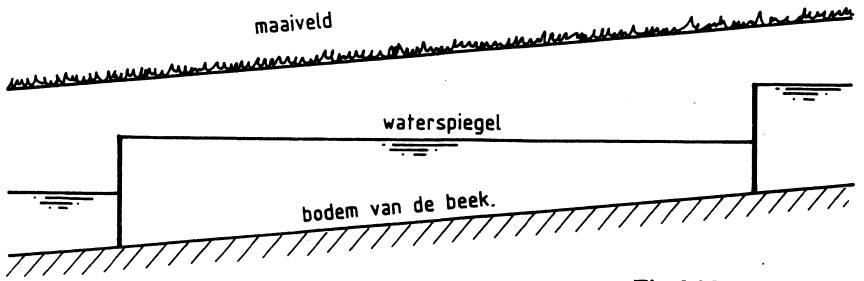


Fig. 3.27. Landbouwstuwen

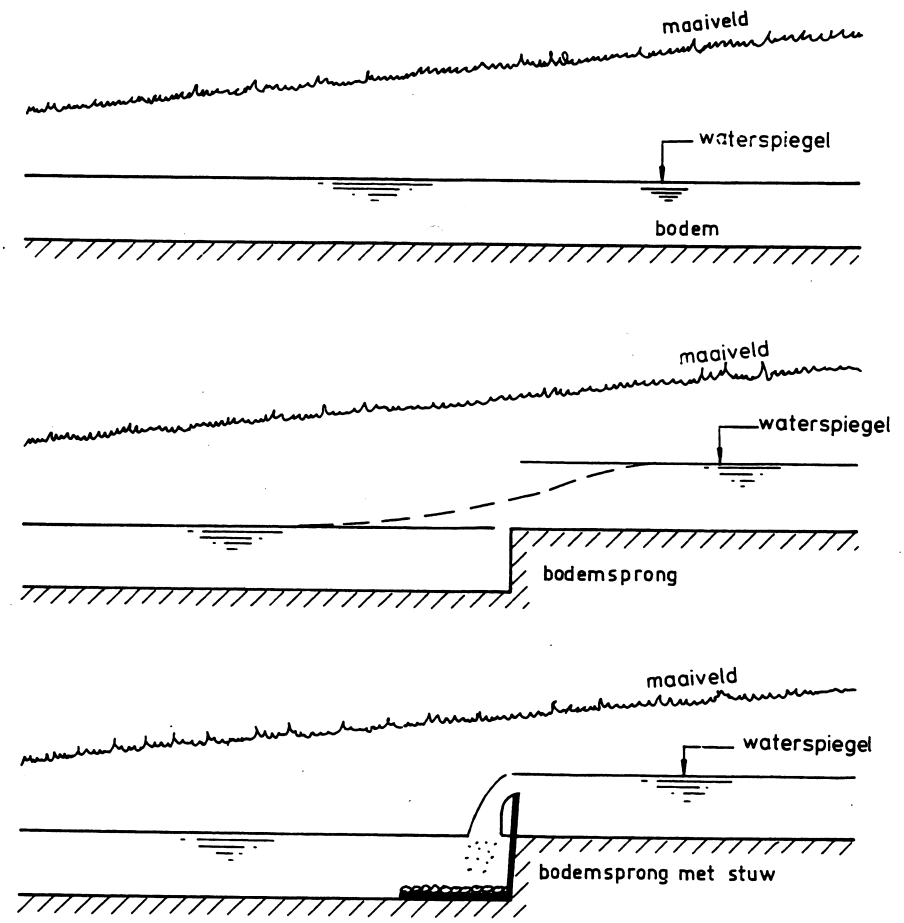


Fig. 3.28. Technische stuw

(fig. 3.28). Dit kan leiden tot diepe ingravingen en een te grote drooglegging bovenstrooms. Om dit te voorkomen past men bodemsprongen toe. Om het teveel aan energie te vernietigen en om erosie te voorkomen wordt een technische stuw geplaatst (fig. 3.28). De watervoorziening is in de loop der jaren, zeker in de hellende gebieden, steeds belangrijker geworden. Vooral in het zeer droge jaar 1976 is dit duidelijk geworden. Gebleken is dat veelal niet aan de waterbehoefte kon worden voldaan. Een oorzaak van het toenemende belang van de watervoorziening is de toenemende intensivering in de land- en tuinbouw en het streven om in droge perioden de bedrijfsrisico's zo veel mogelijk te beperken [3-19]. Een andere oorzaak is het toegenomen gebruik van het grondwater voor drinkwater en industriewater en voor beregening van landbouwgronden, waardoor de grondwaterstanden dalen en de beken minder afvoeren.

3.4 Bestuurlijke organisatie van het waterbeheer

Voor het beheer en de beheersing van het water is een organisatorisch en juridisch kader nodig. In detail is dat bestuurlijk- en juridisch kader een zeer complex systeem. Door de toegenomen belangen bij een goed waterbeheer is er in Nederland in de organisatie en de wetgeving op het gebied van het waterbeheer veel veranderd. De nieuwe Wet op de Waterhuishouding vormt het integrerend geheel, waarbinnen de waterhuishouding in Nederland wordt geregeld (fig. 3.29).
De Wet op de Waterhuishouding heeft tot doel de overheid de instrumenten te verschaffen om een samenhangend beleid en beheer te voeren met betrekking tot de gehele waterhuishouding enerzijds en een speciale aanvullende regeling te treffen voor het waterkwantiteitsbeheer anderzijds. De met de wet samenhangende plannen zijn in fig. 3.29 weergegeven. Onderdeel is een provinciaal waterhuishoudingsplan, bedoeld als integratiekader en richtinggevend voor de verschillende onderdelen. Het behandelt zowel oppervlaktewater als grondwater, zowel waterkwantiteit als waterkwaliteit.
Als onderdeel wordt een 'provinciaal kwantiteitsplan oppervlaktewater' vastgesteld. Dit moet door de feitelijke waterbeheerders (waterschappen en gemeenten) worden vastgesteld.

Het oppervlaktewater-kwaliteitsbeheer is sinds 1970 geregeld in de Wet Verontreiniging Oppervlaktewateren. Op nationaal niveau wordt de planmatige aanpak van het probleem uitgewerkt in het Indicatief Meerjaren Programma (IMP). Door de provincie en/of door de zuiveringsschappen of waterschappen moeten in het kader van het IMP waterkwaliteitsplannen worden vastgesteld. Op gemeentelijk niveau moet een Integraal Afvalwater Afvoerplan (IAAP) worden ontwikkeld. Het beheer met betrekking tot de rijkswateren wordt uitgevoerd door het ministerie van Verkeer en Waterstaat. Het waterkwaliteitsbeheer van de niet-rijkswateren is opgedragen aan de provincies, die dit beheer kunnen delegeren aan andere openbare lichamen. Dit heeft een scala van bestuursvormen opgeleverd. In de provincies Groningen, Friesland en Utrecht wordt het kwaliteitsbeheer door de provincie verzorgd. Drenthe en Limburg hebben het beheer aan één, nieuw opgericht, zuiveringsschap opgedragen, Gelderland heeft de taak aan drie nieuwe zuiveringsschappen opgedragen. Overijssel heeft de taak gedelegeerd aan één bestaand waterschap en één nieuw zuiveringsschap en Noord-Holland aan respectievelijk twee bestaande en één nieuw waterschap. Noord-Brabant heeft twee bestaande en drie nieuwe waterschappen met de taak belast, Zuid-Holland en Zeeland respectievelijk zes en negen bestaande waterschappen.

Het kwantitatief grondwaterbeheer wordt geregeld in de in 1980–1981 ingediende Grondwaterwet. Het grondwaterbeheer is opgedragen aan de provincies die een provinciaal beleidsplan, het zogenaamde grondwateronttrekkingsplan, moeten opstellen. Het beleid moet worden gecoördineerd in de provinciale grondwatercommissie en in de landelijke commissie grondwaterbeheer.
Het kwalitatief grondwaterbeheer moet nog geregeld worden via de Wet op de Bodembescherming, die naast een aantal andere van belang zijnde wetten komt. Op nationaal niveau zullen regels voor de bodembescherming worden opgesteld. De provincies moeten een grondwaterkwaliteitsplan opstellen. Dit plan moet gecoördineerd worden met het grondwateronttrekkingsplan en uiteraard met het provinciaal waterhuishoudingsplan.

Bij het bouwrijp maken heeft de gemeente te maken met de provinciale plannen ten aanzien van het grondwater en het oppervlaktewater, kwantitatief en kwalitatief, en met de waterschappen en zuiveringsschappen. Hierbij is vooral de relatie tussen gemeenten en waterschappen van belang, gezien de overlappende beheersgebieden.

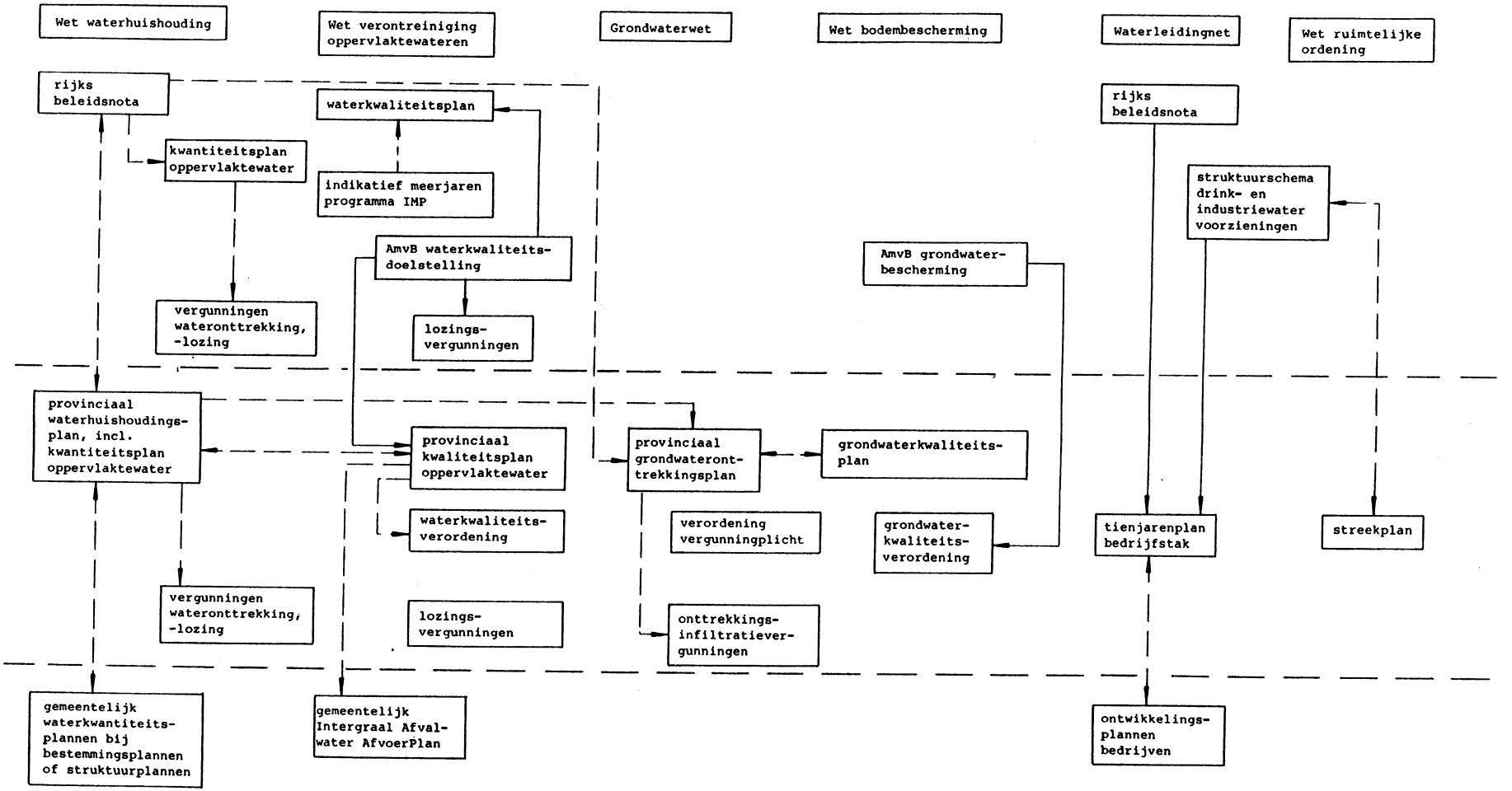


Fig. 3.29. Globaal schema van de plannings- en besluitvormingsstructuur van het waterbeheer in Nederland

Een gemeente moet van een waterschap een vergunning hebben voor de afvoer van het water uit een deel van de stad en voor het dempen en graven van nieuwe watergangen. Een waterschap heeft voor de bouw van een gemaal of een zuiveringsinstallatie een bouwvergunning nodig. Het Besluit op de Ruimtelijke Ordening zegt over de samenwerking tussen gemeente en waterschap: 'bij de voorbereiding van een structuurplan of een bestemmingsplan plegen Burgemeester en Wethouders overleg met de besturen van de gemeenten, die aan het in het plan begrepen gebied grenzen, met de betrokken diensten van Rijk en Provincie, alsmede met daarvoor naar hun mening in aanmerking komende waterschapbesturen'.
Er bestaat bij waterschappen veelal ontevredenheid over het functioneren van dit overleg. In veel gevallen vindt dit overleg eerst plaats als het bestemmingsplan reeds in ontwikkeling is [3-20, 3-21]. Een van de redenen echter waarom dit overleg niet op bevredigende wijze plaats vindt is volgens gemeenten gelegen in het feit dat een deel van de waterschappen geen actieve taak ziet met betrekking tot het water in de stad en de opvang en verwerking van de piekafvoer. Die waterschappen voeren een zogenaamd 'passief beleid'. Het waterschap schrijft maatregelen voor die de gemeente moet treffen. De kosten zijn daarbij voor de gemeente. Omdat een niet gezamenlijke aanpak aanleiding kan zijn voor het ontwerpen van niet-optimale oplossingen van de waterhuishouding, in zowel technisch als financieel-economisch opzicht, wordt hier gepleit voor een 'actief beleid' van de waterschappen [3-20, 3-21]. Dit houdt in dat het waterschap verantwoordelijk wordt voor de opvang en verwerking van de versnelde afvoer. In overleg met de gemeente worden de nodige maatregelen getroffen. In de kosten wordt dan geheel of gedeeltelijk bijgedragen door het waterschap. Minimaal moet het waterschap de meeropbrengst van de 'omslag bebouwd' van het betreffende plan onder aftrek van de geschatte onderhoudskosten bijdragen. Dit kan resulteren in een zogenaamd minimaal plan, een plan waarmee precies aan de waterhuishoudkundige eisen wordt voldaan. De vaak aanzienlijke vermeerdering van de omslagopbrengst ten gevolge van de toename van het bebouwd gebied maakt ook redelijk dat het waterschap in de kosten bijdraagt. Indien de gemeente uit stedebouwkundige overwegingen, in afwijking van het minimale waterbeheersingsplan, meer of anders gesitueerd water wil aanleggen, bijvoorbeeld siervijvers en recreatievijvers, dan moeten de meerkosten door de gemeente worden betaald. Zo'n gezamenlijke aanpak kan gestalte krijgen via het door Dragt bepleite 'nat structuurplan' dat door gemeente en waterschap gezamenlijk moet worden opgesteld [3-22].

3.5 Samenvatting

Na een beschrijving van de bijzondere omstandigheden van zowel oppervlaktewater als grondwater en van zowel neerslag als afvoer in een stedelijk gebied, wordt uitgebreid ingegaan op de hydrologische cyclus in een stedelijk gebied. Een grote rol bij het ontwerp van de waterhuishouding speelt de kans van optreden van hoeveelheden neerslag. Hiervoor wordt in de stedelijke gebieden veel gebruik gemaakt van regenduurlijnen.
Voor het stedelijk groen is vooral de relatie tussen de bodemgesteldheid en de waterhuishouding van belang. Deze relatie wordt in zijn algemeenheid en voor bebouwde gebieden in het bijzonder kort omschreven.
Van belang voor het waterhuishoudkundige ontwerp is eveneens de waterstaatkundige opbouw van Nederland. Deze wordt voor poldergebieden en voor hellende gebieden apart behandeld.
Dit hoofdstuk wordt afgesloten met een korte beschrijving van de relatie tussen de stedelijke waterhuishouding en de bestuurlijke organisatie van het waterbeheer in Nederland.

4 Ophogen

4.1 Inleiding

4.1.1 De begaanbaarheid van terreinen

Zoals in par. 1.5 is aangegeven is één van de eisen die aan een goed bouwrijp gemaakt terrein worden gesteld, dat het goed begaanbaar is en een goede draagkracht bezit. Onder begaanbaarheid wordt verstaan de mogelijkheid om het terrein te berijden of te betreden. Vooral voor bouwterreinen is dit van groot belang. Ze moeten zodanig begaanbaar zijn dat bouwmaterialen zonder moeilijkheden kunnen worden aangevoerd, opgeslagen en verwerkt. Daarnaast moeten ook de voor de bouw benodigde machines, zoals heistellingen, bouwkranen en grondbewerkingsmachines, zich zonder gevaar voor wegzakken over het terrein kunnen bewegen.

Onder draagkracht van de bodem wordt verstaan het vermogen om op de grond drukkende lasten op te vangen. Funderingsdrukken van gebouwen, kunstwerken en rioleringen moeten zonder problemen naar de ondergrond worden overgebracht. Daarnaast moet de verhardingsconstructie van wegen meestal aangelegd worden op een draagkrachtige aardebaan. Tenslotte moeten bouwmaterialen opgeslagen kunnen worden op het bouwterrein.

Funderingsconstructies van gebouwen, kunstwerken, riolering en dergelijke vallen buiten het kader van dit boek [4-1, 4-2]. De overige aspecten worden nader uitgewerkt. Aan de eisen ten aanzien van begaanbaarheid en draagkracht voor wegen, bouwactiviteiten en opslag van bouwmateriaal voldoen goed ontwaterde zandgronden of met zand opgehoogde terreinen.

Bovenstaande opvatting, waarin gesteld wordt dat een bouwrijp gemaakt terrein begaanbaar en draagkrachtig moet zijn, is in de praktijk geen algemeen uitgangspunt. Er zijn ook gemeenten die onder bouwrijp maken verstaan het via bouwstraten bereikbaar maken van het bouwterrein. De bouwer dient dan zelf voor verbetering van de kwaliteit van het bouwterrein te zorgen. Er bestaat hier een verschil in verantwoordelijkheid tussen gemeente en bouwer.

Hoewel dit verschil in verantwoordelijkheid wordt erkend, wordt in dit boek voor een meer omvattende technisch-wetenschappelijke benadering gekozen. Dit betekent dat steeds een optimale aanpak – goed en goedkoop – wordt besproken. Hierbij wordt de kwaliteit van het gehele terrein beoordeeld ten aanzien van alle aan de orde zijnde aspecten.

Dat zo'n optimale aanpak niet altijd wordt gekozen hangt vaak samen met het feit dat de organisatie dat niet toestaat, bijvoorbeeld door verschillende verantwoordelijkheden ten aanzien van de investeringen: de winst van een goed bouwterrein komt ook ten goede aan hen die er niet voor betalen (zie ook par. 4.8 en 9.7).

Naast bovenstaande aspecten worden bij een goed bouwrijp gemaakt terrein ook eisen gesteld aan de vereiste afstand tussen maaiveld en peil in het open water en tussen maaiveld en grondwaterstand. Eén van de toe te passen maatregelen om dit te bereiken is het verhogen van het maaiveld. Voor deze verhoging kan uiteraard het best gebruik worden gemaakt van goed doorlatend ophoogmateriaal: zand. Het is echter ook

denkbaar dat het terrein gedeeltelijk met grond wordt opgehoogd. Hoewel het onderwerp ontwatering in hoofdstuk 5 wordt behandeld, is het van belang reeds hier te wijzen op het belang van een goede ontwatering van opgehoogde terreinen. Zonder ontwateringsmiddelen kent een opgespoten terrein de langste tijd van het jaar wateroverlast, omdat zich onder het zand tijdens de opspuiting een ondoorlatende laag vormt door slibafzetting of door verslempen en dichtslibben van het oude maaiveld [4-3, 4-4]. Ook het verwijderen van de perskaden na de opspuiting is in dit verband van groot belang.

Een andere reden om tot ophogen van bouwterreinen over te gaan hangt samen met de afwatering. De rioolbuizen moeten een minimale gronddekking van 1,00 m hebben. Het heeft uiteraard grote kostenvoordelen als het regenwater zonder pompen naar het oppervlaktewater kan worden afgevoerd of als de vuilwater-riolering vrij naar een bestaand rioolgemaal kan afvoeren. Dit kan door de straten voldoende hoog boven het open waterpeil te leggen. Ook het omhoog brengen van het maaiveld om vrije afwatering vanuit het stedelijk gebied mogelijk te maken heeft voordelen (hoofdstuk 6).

4.1.2 Eisen met betrekking tot de begaanbaarheid en de draagkracht

Indien voorgaande overwegingen moeten worden omgezet in eisen met betrekking tot begaanbaarheid en draagkracht van een bouwterrein, dan moeten ze gesplitst worden in drie onderdelen, te weten [4-5]:
- eisen in verband met de berijdbaarheid van het bouwterrein;
- eisen in verband met de opslag van materialen;
- eisen ten aanzien van de aardebaan van wegen.

De eisen die gesteld moeten worden in verband met de *berijdbaarheid* kunnen nog verder worden onderverdeeld in de eisen voor de berijdbaarheid door het bouwverkeer, zoals bijvoorbeeld de aanvoer van materialen, beton, en dergelijke en de eisen die gesteld moeten worden aan berijdbaarheid voor bouwwerken, zoals kranen e.d.
Voor het verkeer naar de bouwterreinen moeten altijd speciale voorzieningen worden getroffen in de vorm van bouwstraten. Voor die eisen die aan de draagkracht worden gesteld door bouwwerktuigen, zoals mobiele kranen op banden, rupsen en rails en grondbewerkingsmachines, ligt dit anders. De eisen voor deze verschillende bouwwerktuigen worden onder meer bepaald door het motorvermogen, de bodemdruk en de standzekerheid. Door de grote verscheidenheid in uitvoeringen van de verschillende werktuigen is het vrijwel onmogelijk algemeen geldende eisen aangaande de draagkracht van een bouwterrein te formuleren. Als een indicatie voor de benodigde draagkracht kunnen de volgende waarden voor de verschillende werktuigen worden genoemd:
- mobiele kranen op banden, motorvermogen beperkende factor, 2000 kN/m^2 (20 kgf/cm^2);
- mobiele kranen op rupsen (60 ton), 500–1000 kN/m^2 (5-10 kgf/cm^2);
- mobiele kranen op rails op biels in zandbed 2500–5000 kN/m^2 (25–50 kgf/cm^2);
- grondbewerkingsmachines, 250 kN/m^2 (2,5 kgf/cm^2).

De eisen die gesteld moeten worden aan de draagkracht van bouwterreinen bij *opslag van bouwmaterialen* zijn als volgt onder te verdelen:
- de bereikbaarheid van de opslagplaats;
- de draagkracht van de opslagplaats;
- mogelijkheden om het opgeslagen materiaal 'schoon' te houden.

Het aanvoeren van bouwmaterialen gebeurt over het algemeen met voertuigen die slechts op verharde wegen kunnen rijden, zodat de opslagplaatsen op of naast de bouwstraten moeten liggen. Vervoer van de opslagplaats naar de bouwplaats gebeurt met kranen, grondbewerkingsmachines of met handkracht.

De eisen die gesteld moeten worden aan de opslagplaatsen van bouwmaterialen hangen uiteraard af van het materiaal dat moet worden opgeslagen. Indien deze eisen worden gebaseerd op de zware materialen, zoals stenen, zand, grind, cement, dan moet een bouwterrein een draagkracht hebben van circa 400 kN/m^2 (4 kgf/cm^2).
Onder het 'schoon' houden van de bouwmaterialen wordt hier verstaan het schoon houden van bijvoorbeeld stenen, maar ook het voorkómen van menging van bijvoorbeeld zand en klei. Het eerste geval dient te worden gerealiseerd door het deugdelijk afdekken van de materialen, het tweede is een kwestie van hoeveelheid en duur van de opslag en het al dan niet rekening houden met enig verlies. Het is niet zinvol om voor dit soort gevallen eisen te stellen aan de draagkracht van het bouwterrein. Wel is een goede ontwatering van het bouwterrein hiervoor een voorwaarde.
Samenvattend kan worden gesteld, dat de zwaarste eisen die aan een bouwterrein moeten worden gesteld afgeleid kunnen worden van het gebruik van zware rupskranen, waarvoor een draagvermogen van 500 à 1000 kN/m^2 (5 à 10 kgf/cm^2) vereist is. Indien de gebruikte kranen van een kleiner kaliber zijn zal de opslag van bijvoorbeeld stenen maatgevend worden (tabel 4.1).

Tabel 4.1. Noodzakelijke draagkracht op een bouwterrein [4-5]

Onderdeel	Te stellen eisen
– Bouwverkeer	Verhardingen, bouwstraat
– Bouwmaterieel:	
mobiele kranen op banden	Verhardingen
mobiele kranen op rupsen (tot 60 ton)	500–1000 kN/m^2
mobiele kranen op rails	250–5000 kN/m^2
grondbewerkingsmachines	250 kN/m^2
– Opslag bouwmaterialen	400 kN/m^2

Naast de eisen met betrekking tot de draagkracht en begaanbaarheid tijdens de bouwfase geldt ook dat de kwaliteit van de bouw minder wordt naarmate de kwaliteit van het bouwterrein minder is (par. 4.8). Een lagere kwaliteit van het bouwterrein heeft vaak een kostenverhoging van de bouw tot gevolg. In tabel 4.2 is een indicatie gegeven van de draagkracht van enige grondsoorten onder droge en natte omstandigheden.

Tabel 4.2. Draagkracht van enige grondsoorten onder natte en droge omstandigheden [4-5]

Grondsoort	Nat	Droog	Opmerking
spuitzand	200–600 kN/m^2	400 kN/m^2	afhankelijk van de dichtheid (pakking)
zavel (gerijpt)	50 kN/m^2	400 kN/m^2	
zavel (ongerijpt)	50 kN/m^2	–	

Zoals in hoofdstuk 2 reeds is opgemerkt is de draagkracht van zavel- en kleigronden sterk afhankelijk van het vochtgehalte. Andere belangrijke factoren voor de draagkracht zijn het lutumgehalte en het organische stofgehalte.

De eisen die gesteld worden aan de *aardebaan van de wegen* hangen samen met de functies van die aardebaan. Een weg bestaat niet alleen uit één of meer verhardingslagen maar ook het daaronder gelegen zandbed maakt deel uit van de wegconstructie. Voor een aardebaan zijn van belang [4-6]:
- grondverbetering;
- ophoging;
- drainage-laag;
- vorstvrije laag;
- laag voor drukspreiding;
- transportbaan.

Veelal worden door de gemeenten eisen aan het ophoogzand gesteld gelijk aan de eisen geformuleerd door Rijkswaterstaat [4-7]. Volgens deze eisen mag zand dat voor aanvulling of ophoging wordt gebruikt voor 8% bestaan uit materiaal fijner dan 2 μm en maximaal voor 50% uit materiaal fijner dan 63 μm. Deze eis hangt samen met de eis van een redelijke verwerkbaarheid (verdichtbaarheid) en met de eis van voldoende draagkracht. Door verdichting worden de sterkte- en stijfheidseigenschappen gunstig beïnvloed. Zand voor aanvulling of ophoging mag gebruikt worden op een diepte van meer dan 1,00 m beneden het oppervlak van het wegdek. Zand dat wordt verwerkt voor het zandbed op een diepte van minder dan 1,00 m beneden het wegdek moet aan strengere eisen voldoen. Het zand mag maximaal voor 15% bestaan uit materiaal fijner dan 63 μm. Als dit gehalte 10–15% bedraagt, dan mag het voor maximaal 3% fijner zijn dan 20 μm. Deze eis hangt met name samen met het voorkómen van vorst- en opdooischade aan de weg. Opvriezen, waarbij door uitzetten van het zandbed de verharding omhoog wordt geduwd, geeft bij het Nederlandse klimaat weinig schade. Opdooi kan wel aanzienlijke schade veroorzaken. Hierbij verandert de bovenste laag van het zandbed bij dooi in een met water verzadigde laag. Het water kan niet wegstromen omdat onderliggende lagen nog bevroren zijn. De bovenste laag kan de verkeersbelasting dan niet meer dragen. De eisen ten aanzien van de korrelsamenstelling hebben dus ook als doel te zorgen voor een goede ontwatering en een niet te hoog vochtgehalte omdat de draagkracht sterk samenhangt met het vochtgehalte (zie hoofdstuk 7). De verwerking van zand voor aanvulling en ophoging dat niet aan de eisen voldoet kan grote problemen geven [4-8]. Ook de begaanbaarheid van het stort kan gedurende lange tijd zeer slecht zijn bij het gebruik van te fijnkorrelig materiaal. De dichtheid, en daarmee de draagkracht, neemt wel toe met de ontwatering, maar de ontwatering verloopt zeer traag bij fijnkorrelig materiaal (tabel 2.4). Aangezien het sterk kostenverhogend werkt om na de zandophoging nog cunetten uit te graven en zandbanen aan te brengen met goed materiaal, is veelal het streven de gewenste kwaliteit van de ophoging gelijk te stellen aan die van het zandbed.
Met de discussies rond de mogelijkheden van gebruik van afvalstoffen in de wegenbouw is de aandacht opnieuw gevestigd op de eisen die aan het zand worden gesteld [4-9] (par. 4.7).

4.2 Methoden van ophogen

Gezien het voorgaande en gegeven de eigenschappen van grondsoorten, zoals beschreven in hoofdstuk 2, kan geconcludeerd worden dat er voor de meeste bouwterreinen in west- en noord-Nederland, in het rivierengebied en voor een deel van de terreinen in de rest van Nederland, maatregelen moeten worden genomen in verband met verbetering van de bodem. Ten behoeve van het verkrijgen van een goede begaanbaarheid, draagkracht, drooglegging en ontwateringsdiepte zijn er in principe drie mogelijkheden:
- Integraal ophogen met zand (fig. 4.1.a);
- Cunettenmethode (fig. 4.1.b);
- Partieel ophogen met zand (fig. 4.1.c).

Deze maatregelen moeten dan worden gecombineerd met het aanbrengen van drainage en/of peilverlaging van het open water.
Ook is binnen één bouwterrein een combinatie van bovengenoemde mogelijkheden denkbaar. Alternatieven voor ophogen met zand worden in par. 4.7 besproken.

Bouwterreinen met een veen- of klei-bovengrond moeten altijd met zand worden opgehoogd. Zo is er onder straten, pleinen en paden beslist zand noodzakelijk (par. 4.1.2). De vraag is echter of een totale ophoging van het terrein met zand voordelen biedt boven het alleen aanbrengen van zand op plaatsen waar het echt nodig is. In het

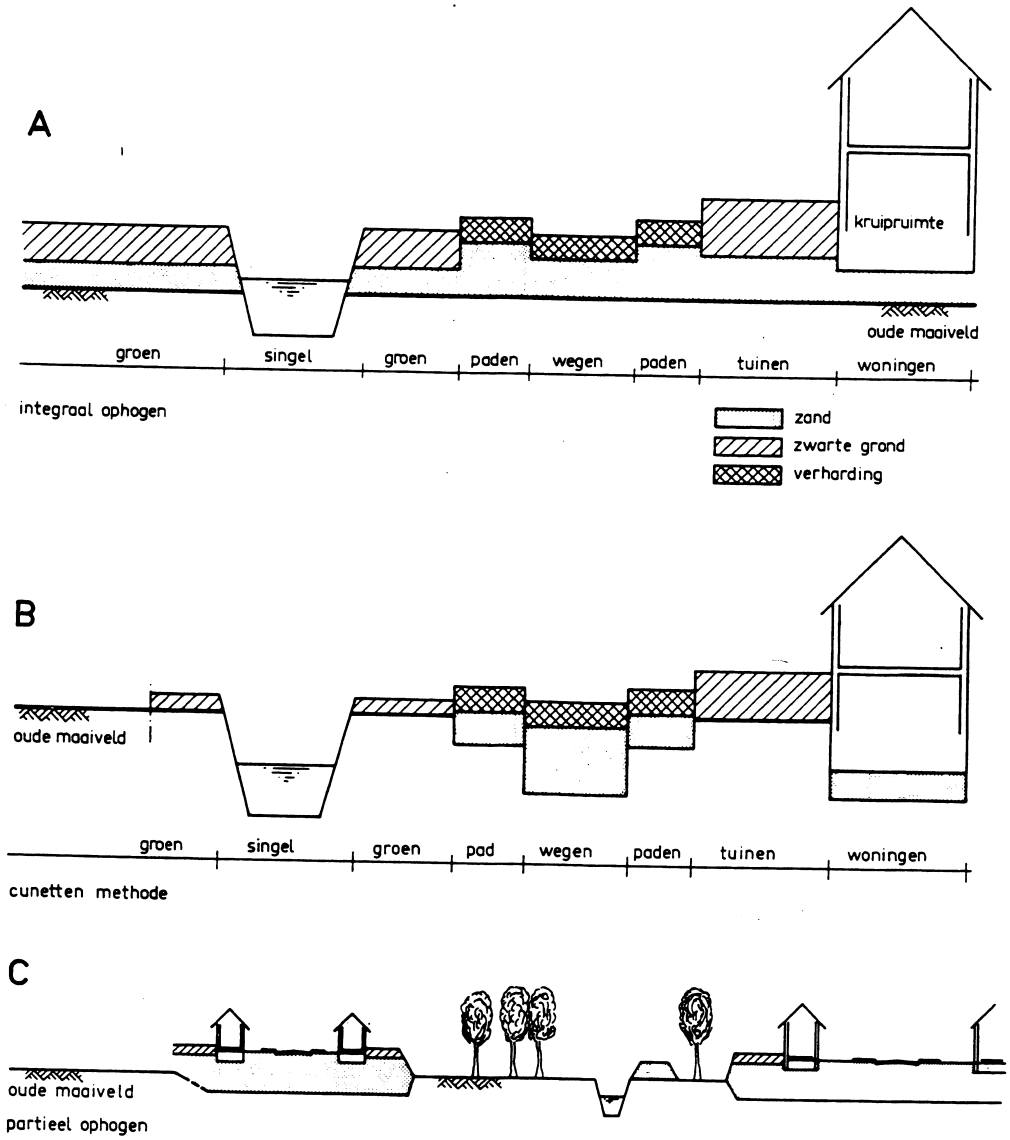


Fig. 4.1. Ophogen met zand

eerste geval wordt van integrale ophoging gesproken; in het andere geval wordt van de cunettenmethode gesproken. Een tussenvorm, waarbij overal op het bouwterrein zand wordt aangebracht behalve in toekomstige grotere groenstroken, waterpartijen en parken, wordt partieel ophogen genoemd. Partieel ophogen kan ook worden toegepast indien verschillen in de bodemopbouw binnen een plan aanleiding geven tot het naast elkaar toepassen van integraal ophogen en de cunettenmethode. In fig. 4.1 is het principe van de methoden aangegeven. Bij integraal ophogen moet tenminste een laag van 0,70 m zand worden opgebracht (par. 4.4).
De maximale ophoging in Nederland bedraagt ongeveer 4,00 m in gebieden waar grote zettingen samenvallen met de onmogelijkheid om het polderpeil te verlagen. Deze maximale ophoging wordt overigens zelden toegepast. Bij toepassing van de cunettenmethode moet tenminste zand aangebracht worden onder de verharding, in dikten variërend van 0,50–1,00 m (par. 4.3). Bij veen- en kleigronden zal in het algemeen 0,30 m zand in de kruipruimte moeten worden aangebracht in verband met de drooglegging van de kruipruimte en zal de rioolsleuf gedeeltelijk met zand worden gevuld.
Afhankelijk van de optredende zetting en de beschikbare maat tussen maaiveld en waterpeil – eventueel na waterpeilverlaging – zal een extra ophoging moeten worden

aangebracht (par. 4.5). In het algemeen wordt het maaiveld van tuinen en plantsoenen omhoog gebracht met de uitkomende grond uit bouwputten, singels en cunetten. De nieuwe maaiveldhoogte wordt vastgesteld met de grondbalans of de zandbalans (par. 4.3 en 4.4).
De verschillende methoden worden in par. 4.3 t.m. 4.7 in detail uitgewerkt. Daarbij zijn de volgende onderwerpen van belang:
1. De dikte van de ophoging (par. 4.3, 4.4 en 4.5).
2. Het tijdstip van ophogen (par. 4.6).
3. Zandwinning en ophogen (par. 4.7).
4. De afweging: integraal ophogen – cunettenmethode (par. 4.8).

4.3 De cunettenmethode en de grondbalans

Bij de cunettenmethode wordt dus zand aangebracht onder de verhardingen en in de kruipruimte. De rioleringssleuf wordt vaak (gedeeltelijk) gevuld met zand en sloten worden veelal gedempt. Sloten en rioolsleuven worden ook wel gevuld met een lichter ophoogmateriaal, zoals bijvoorbeeld flugzand, om ongelijke zetting te voorkomen (par. 4.7). De tuinen en het openbaar groen worden opgehoogd met 'zwarte grond'. Deze grond wordt ontgraven uit de wegcunetten, uit de kruipruimten en uit de singels of wordt van buiten het gebied aangevoerd (fig. 4.2). Ook bij het aanleggen van geluidswallen wordt een hoeveelheid grond verwerkt.
Indien de ontwateringsdiepte – dit is de afstand tussen maaiveld en het peil in het open water – voldoende groot is, zodat het nieuwe maaiveld niet daarom omhoog gebracht behoeft te worden, dan wordt het zand- en grondverzet bepaald met de grondbalans. Uitgangspunt hierbij is een minimaal grondverzet. Er wordt vanuit gegaan dat minimaal grondverzet wordt bereikt als het maaiveld opgehoogd wordt met grond uit de ontgravingen. Voor het bepalen van de grondbalans moeten de hoogteligging van de verschillende onderdelen van het woongebied en de cunetdiepten worden vastgelegd.

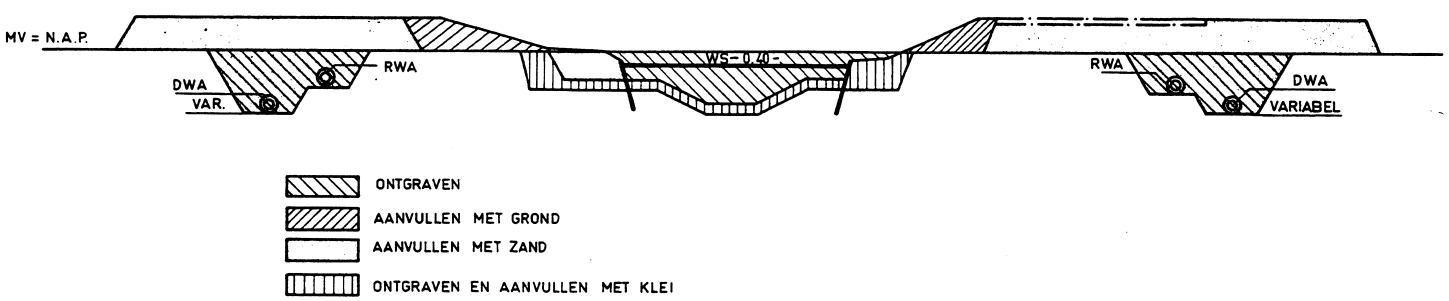


Fig. 4.2. De cunettenmethode; bestemmingsplan Houtwijk, 's-Gravenhage

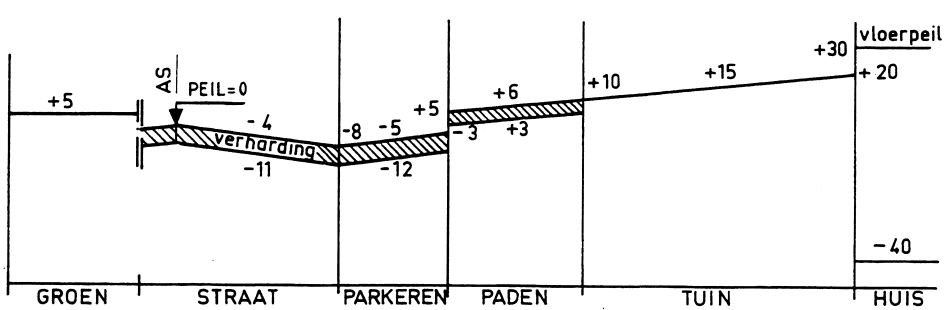


Fig. 4.3. Profiel over het woongebied; hoogtematen in cm [4-10]

Als grondslag voor de voorbeeldberekening wordt hier het in fig. 4.3 aangegeven dwarsprofiel gebruikt [4-10]. Voor het voorbeeld is een plan met 40 woningen per hectare genomen, met een indeling zoals aangegeven in tabel 4.3 (zie ook par. 9.4).
In de voorbeeldberekening worden de volgende cunetdiepten aangehouden:

- ontsluitingswegen 0,60 m
- woonstraten 0,40 m
- parkeerplaatsen 0,40 m
- fiets- en voetpaden 0,20 m

Tabel 4.3. Grondgebruikgegevens van een plan met bruto 40 woningen per hectare (aangepast, naar Grontmij [4-10]).

Categorie	% Grondgebruik	Oppervlakte per woning (m^2)
woning	22	55
tuin	32	80
openbaar groen	6	15
water(*)	8	20
ontsluitingsweg	3	7
woonstraat	8	21
parkeren	7	17
paden	10	25
voorzieningen	4	10
– als gebouw		(5)
– als woonstraat		(5)
	100	250

(*) inclusief bovenwatertaluds

In fig. 4.4 is het schema gegeven waaruit het grondverzet is af te leiden. De berekening wordt als volgt uitgevoerd: Stel het te kiezen straatpeil ligt X cm boven het oude maaiveld. Minimaal grondverzet vindt plaats als de ophoging met grond gelijk is aan de ontgraving van grond.

Ontgraving van grond:

woning + deel voorzieningen	$60(0{,}70 - X) = 42 - 60X$
ontsluitingswegen	$7(0{,}78 - X) = 5{,}46 - 7X$
woonstraten + deel voorzieningen	$26(0{,}51 - X) = 13{,}26 - 26X$
parkeerplaatsen	$17(0{,}52 - X) = 8{,}84 - 17X$
open water (zie fig. 4.9)	$5 + 10(1{,}20 - X) =$
	$+ 4(1{,}20 - X)(1{,}20 - X) = 22{,}76 - 9{,}6X - 4X^2$
	$92{,}32 - 119{,}6X - 4X^2$

Ophoging met grond:

tuinen	$80(0{,}15 + X) = 12 + 80X$
openbaar groen	$15(0{,}05 + X) = 0{,}75 + 15X$
paden	$25(X - 0{,}17) = 25X - 4{,}25$
	$8{,}50 + 120X$

In de praktijk zal onder een toekomstig pad niet eerst met een laagje grond worden opgehoogd en daarna met zand. Als bovenstaande grondbalans wordt uitgerekend blijkt dat wel de uitkomst te zijn. De ophoging met grond wordt dus: $12{,}75 + 95X$.

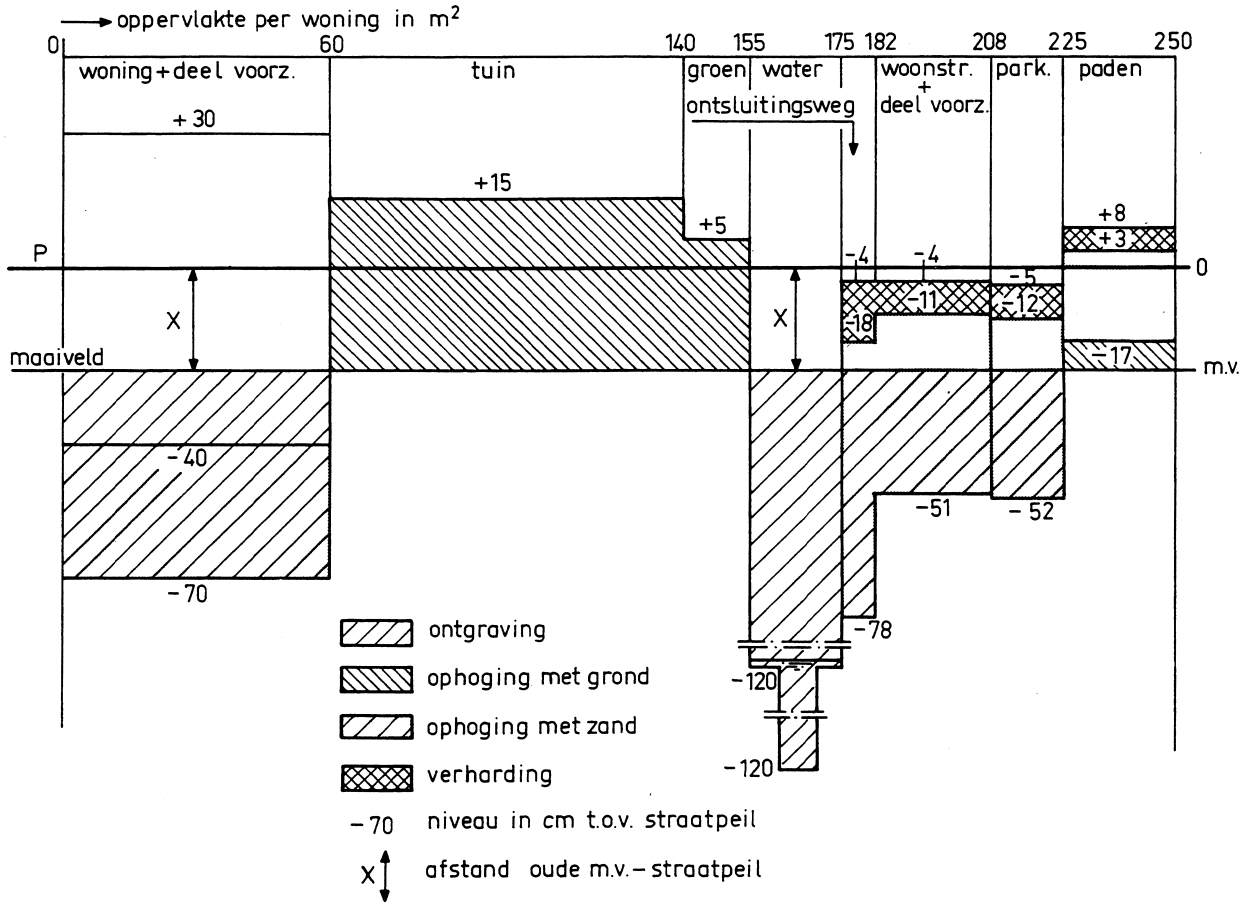


Fig. 4.4. Schema voor de bepaling van de grondbalans (aangepast, naar Grontmij [4-10])

De grondbalans is dan: ontgraving = ophoging

$$92{,}32 - 119{,}6X - 4X^2 = 8{,}50 + 120X$$

$$X = 0{,}35$$

Het straatpeil ligt dus 0,35 m boven het oude maaiveld. Het totale grondverzet bedraagt 50,50 m^3 per woning ofwel 2020 m^3 per hectare. De benodigde hoeveelheid zand bedraagt 48,90 m^3 per woning ofwel 1956 m^3 per hectare. Bij het aldus bepaalde straatpeil moet gecontroleerd worden of de ontwateringsdiepte (het verschil maaiveld – singelpeil) na ophoging en zetting voldoet aan de gestelde eis. De hierboven aangegeven werkwijze (ontgraving = ophoging) vergt uiteraard de nodige organisatie op het bouwterrein. Zo zal de ontgraven grond uit de bouwputten, de cunetten en de singels tijdelijk in één of meer depots op het bouwterrein moeten worden opgeslagen. Na de bouwfase, in de fase van het woonrijp maken, moet de grond worden aangebracht in tuinen en openbaar groen. Ook het zand wordt veelal in fasen aangebracht. In eerste instantie zullen alleen de bouwstraten worden aangelegd, zoveel mogelijk op de plaats van de definitieve wegen en op de plaats van toekomstige paden. In de fase van het woonrijp maken worden de nog niet gemaakte wegen en paden alsnog aangelegd en worden de bouwstraten opnieuw in profiel gebracht. Het zand voor de cunetten wordt in het algemeen per as aangebracht. Soms wordt dit zand dan eerst vanuit een zandput in een depot gespoten, van waaruit het per as wordt vervoerd naar de cunetten.

Een meer algemene benadering, waarbij het grond- en zandverzet wordt bepaald uitgaande van een bepaalde vereiste ontwateringsdiepte en een oorspronkelijke maaiveldhoogte, is de volgende [4-10]. Als vast gegeven wordt hier als voorbeeld aangeno-

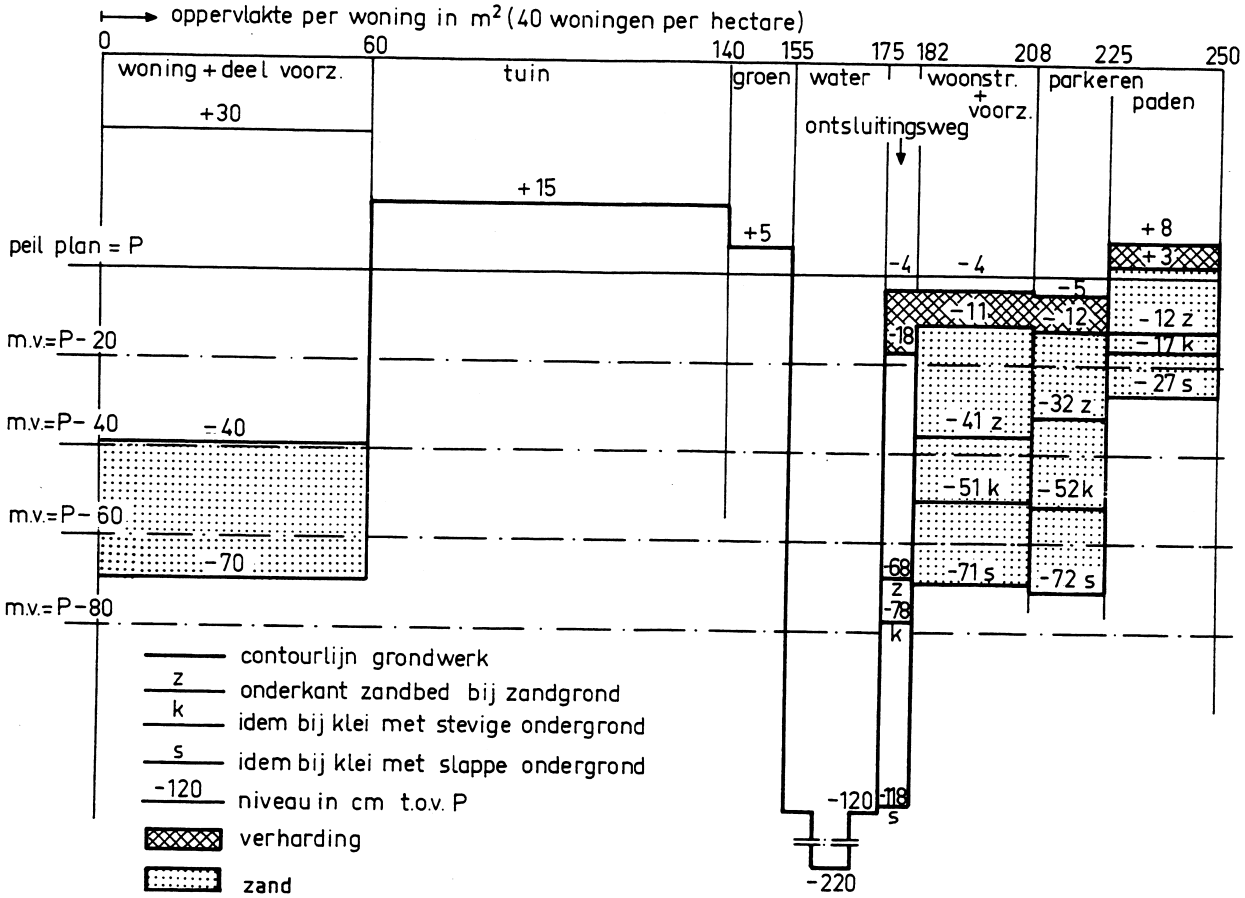


Fig. 4.5. Schema voor de bepaling van ontgraven en ophogen (aangepast, naar Grontmij [4-10])

men dat het straatpeil 1,20 m boven het open waterpeil moet komen (hoofdstuk 6). Het niveau van het oorspronkelijke maaiveld ten opzichte van het aanlegpeil (straatpeil) wordt gevarieerd. In fig. 4.5 is een schema getekend waaruit het grondverzet is af te leiden. Nadat het huidige maaiveld van een bepaald plan in de figuur is ingetekend kan het grondverzet worden berekend. Het ontgravingsniveau voor de wegcunetten, de onderkant van het zandbed, is in de figuur aangegeven voor drie representatieve bodemtypen, namelijk zand, klei op stevige ondergrond, en klei op slappe ondergrond. De bij deze grondsoorten gebruikte dikten van het zandbed in het voorbeeld, staan aangegeven in tabel 4.4 (zie ook tabel 4.6). In tabel 4.5 zijn de grond- en zandverzetberekeningen per woning gegeven voor aanleg van het straatpeil respectievelijk 0,20 m, 0,40 m en 0,60 m boven het oude maaiveld, voor de genoemde bodemtypen. De grondgebruikgegevens zijn die zoals in tabel 4.3 is aangegeven. Met de gegevens uit deze tabel kunnen de kosten voor grond- en zandverzet worden berekend voor globale

Tabel 4.4. Dikte zandbed in meters, afhankelijk van bodemtype en categorie weg [4-10]

	Zandgronden	Klei op stevige ondergrond	Klei op slappe ondergrond
ontsluitingswegen	0,50	0,60	1,00(*)
woonstraten	0,30	0,40	0,60
parkeerplaatsen	0,20	0,40	0,60
fiets- en voetpaden	0,15	0,20	0,30

(*) Afhankelijk van de ondergrond kan deze waarde oplopen tot 3,00 m

studies, dat wil zeggen als de preciese gegevens van het studiegebied (nog) niet bekend zijn (par. 4.8). Dit is bijvoorbeeld het geval bij haalbaarheidsstudies of bodemgeschiktheidsbeoordelingen (par. 9.6). In deze berekeningen zijn, evenals bij de grondbalans, een aantal aspecten niet meegenomen.

Tabel 4.5. Grond- en zandverzet per woning bij de cunettenmethode (in m^3). Totaal oppervlak per woning 250 m^2 (40 won/ha) (aangepast, naar Grontmij [4-10])

	Zandgrond	Klei (stevige ondergrond)	Klei (slappe ondergrond)
Straatpeil m.v. + 0,20 m			
Grond ontgraven + afvoeren	37	44	57
Grond ontgraven + ophogen(1)	32	32	32
Zand leveren + verwerken(2),(3)	27	60	75
Straatpeil m.v. + 0,40 m			
Grond leveren + verwerken	7	1	10(4)
Grond ontgraven + ophogen(1)	44	50	51
Zand leveren + verwerken(2),(3)	35(5)	65(5)	81(5)
Straatpeil m.v. + 0,60 m			
Grond leveren en verwerken	44	43	35
Grond ontgraven + ophogen(1)	26	27	35
Zand leveren en verwerken(2),(3)	52(5)	82(5)	87(5)

(1) er wordt vanuit gegaan dat de ontgraven grond geschikt is als ophoogmateriaal voor tuinen en groen
(2) geen laag zand 0,30 m in de kruipruimte
(3) inclusief verdichtingsfactor 1,3
(4) grond ontgraven en afvoeren
(5) indien onderkant zandbed boven het oude maaiveld ligt wordt er vanuit gegaan dat vanaf het maaiveld met zand wordt opgehoogd.

Tabel 4.6. Dikten zandbed in meters [4-12]

	wegen	woonstraten, -erven	parkeerplaatsen	voet-, fietspaden	speelplaatsen	overige verharding
Grondkostenindex – zand [4-11]	0,65	0,65	0,55	0,40	0,45	–
Grondkostenindex – klei [4-11]	0,65	0,60	0,55	0,30	0,35	–
Beverwaard-Rotterdam-klei	0,70	–	0,70	–	–	0,40
Drievliet-Ridderkerk-klei	0,50	–	0,50	0,20	–	–
Segwaert-Zoetermeer-klei	0,60	–	0,60	–	–	0,30
Houtwijk-Den Haag(*)	1,00	1,00	1,00	1,00	–	–
Nieuw Waldeck-Den Haag	1,00	1,00	1,00	1,00	–	–
Lelystad-klei [4-16]	1,00	1,00	1,00	1,00	–	–
R.IJ.P.-klei [4-5]	0,70	0,70	0,70	0,70	–	–

(*) dikker bij slappe veenlagen in de ondergrond

Ten eerste blijkt er geen eenduidige opvatting te bestaan over de gewenste dikte van de zandbaan onder de verhardingen. Bij zandgronden wordt in het algemeen de humeuze bovenlaag weggegraven. Dit geeft, afhankelijk van de situatie, verschillende waarden voor de dikte van de zandbaan. Toch is het opvallend dat ook in meer algemene studies grote verschillen voorkomen in de uitgangspunten (tabel 4.6). In tabel 4.6 is ook de

dikte van het zandbed weergegeven zoals gevonden in een aantal recent gerealiseerde woonbuurten [4-12]. Er bestaat geen overeenstemming over de te realiseren kwaliteit. De cunetdikte van 1,00 m komt uit de Eisen Rijkswaterstaat [4-7]. Van de Fliert stelt deze maat ter discussie [4-13]. Aangezien de eis dat het zand van het zandbed maximaal 15% materiaal mag bevatten fijner dan 63 µm wordt bepaald door de vorstbestendigheid, stelt hij vóór de eis ten aanzien van de onderkant van het zandbed te verlagen tot 0,70 à 0,80 m. Aangezien de verhardingsconstructie 0,10 tot 0,30 m dik is – afhankelijk van de verkeersklasse – zal het zandbed zo'n 0,60 m dik moeten zijn. Vanuit constructieve overwegingen is niet goed aan te geven wat de dikte moet zijn. Zo wordt in de Shell Pavement Design Manual gesteld dat het niet duidelijk is waar het in Nederland gebruikelijke zandbed kan blijven in het ontwerp [4-14]. De dikte in verband met de drukspreidende functie, ter voorkomen van evenwichtsverlies, moet ongeveer 0,50 m zijn [4-5, 4-15]. Uit het bovenstaande wordt geconcludeerd, mede in verband met het voorkómen van spoorvorming tijdens de bouwfase, dat het zandcunet 0,60 à 0,70 m dik moet zijn. Hierbij is rekening gehouden met spoorvorming van ongeveer 0,20 m. Een zandbed van geringere dikte heeft als consequentie een hoger onderhoud.
In fig. 4.6 is van een aantal typen wegen de constructie aangegeven.

Naast deze verschillen in dikte van het zandbed blijkt uit bestudering van recent gerealiseerde buurten dat ook ten behoeve van de aanleg van riolering grond- en zandverzet plaats vindt. Er bestaan verschillende mogelijkheden (fig. 4.7):
- De rioolsleuf wordt tot de bovenkant van de buis aangevuld met zand. Daarboven wordt de uitgegraven grond teruggezet. Daarboven ligt het zandcunet. De totale hoeveelheid grond- en zandverzet bedraagt 3 à 4 m^3 per m^1 riolering, waarvan ongeveer 1 m^3 zand [4-12].
- De rioolsleuf wordt geheel gevuld met zand. De totale hoeveelheid grond- en zandverzet bedraagt 5 à 7 m^3 per m^1 riolering, waarvan ongeveer 4 m^3 zand.
- De rioolsleuf wordt gevuld met flugzand, een licht materiaal voor aanvulling of ophoging (par. 4.7). Boven het flugzand ligt het zand van het zandbed.

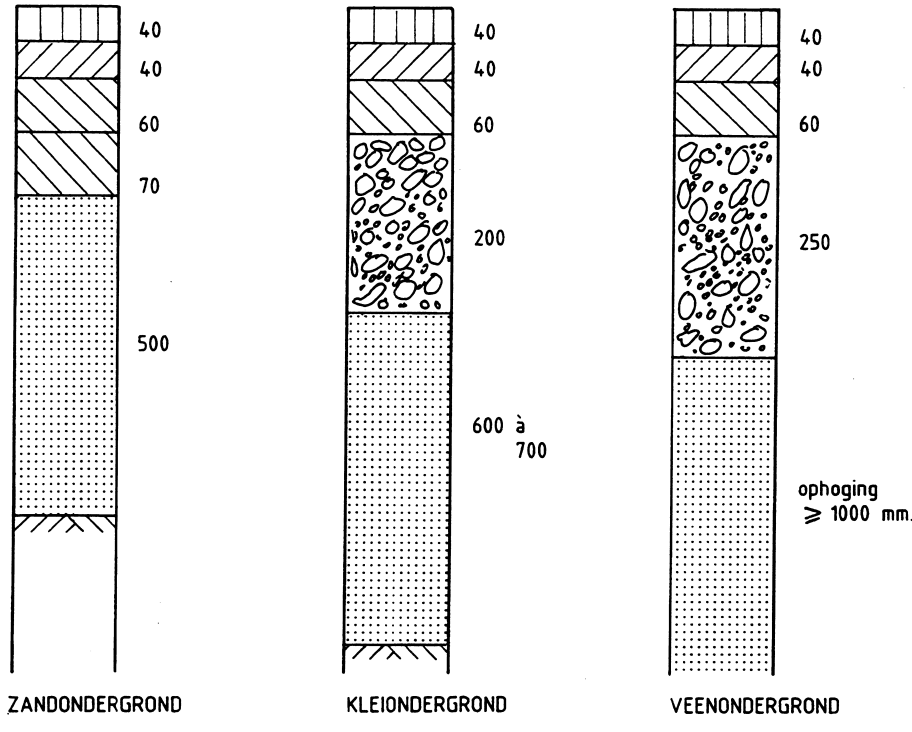
Aangezien bij het gescheiden rioolstelsel per hectare woongebied 450 m^1 en bij het gemengde rioolstelsel ongeveer 250 m^1 buizen in de grond kan liggen, betekent dit een behoorlijke hoeveelheid grond- en zandverzet.

Ook de aanleg van bouwstraten is van invloed op de hoeveelheid grond- en zandverzet. Als het niet mogelijk is alle bouwstraten te situeren op plaatsen van de toekomstige wegen, maar als een deel ter plaatse van toekomstige voetgangersverharding wordt gelegd, dan is een extra dik zandcunet onder de voetgangersverharding nodig. Ook is het cunet voor de bouwstraat breder dan van de voetgangersverharding. De extra benodigde ophoging kan 0,25 m zand per m^2 bouwstraat bedragen.
Tijdens het woonrijp maken is het meestal nodig het zandbed ter plaatse van de bouwstraten opnieuw aan te vullen met 0,10 tot 0,25 m^3 zand per m^2 bouwstraat.
Er moet bovendien worden gerekend met ongeveer 1000 m^3 grond- en zandverzet per hectare woongebied ten behoeve van allerlei werkzaamheden op het bouwterrein.
Tenslotte moet er op worden gewezen dat het aanbrengen van een zandlaag onder in de kruipruimte veelal geen gewoonte is. Het belang hiervan komt in hoofdstuk 5 nader aan de orde. Dit is een kwestie van kwaliteit waaraan in par. 4.8 nader aandacht wordt besteed.

4.4 Integraal ophogen

Bij integraal ophogen wordt een laag zand aangebracht over het gehele terrein. Deze maatregel wordt getroffen om een goed begaanbaar, draagkrachtig en droog bouwterrein te realiseren. Uit theoretisch oogpunt is een laagdikte van 0,50 m zand voldoende

WIJKVERZAMELWEGEN



WIJKONTSLUITINGSWEGEN

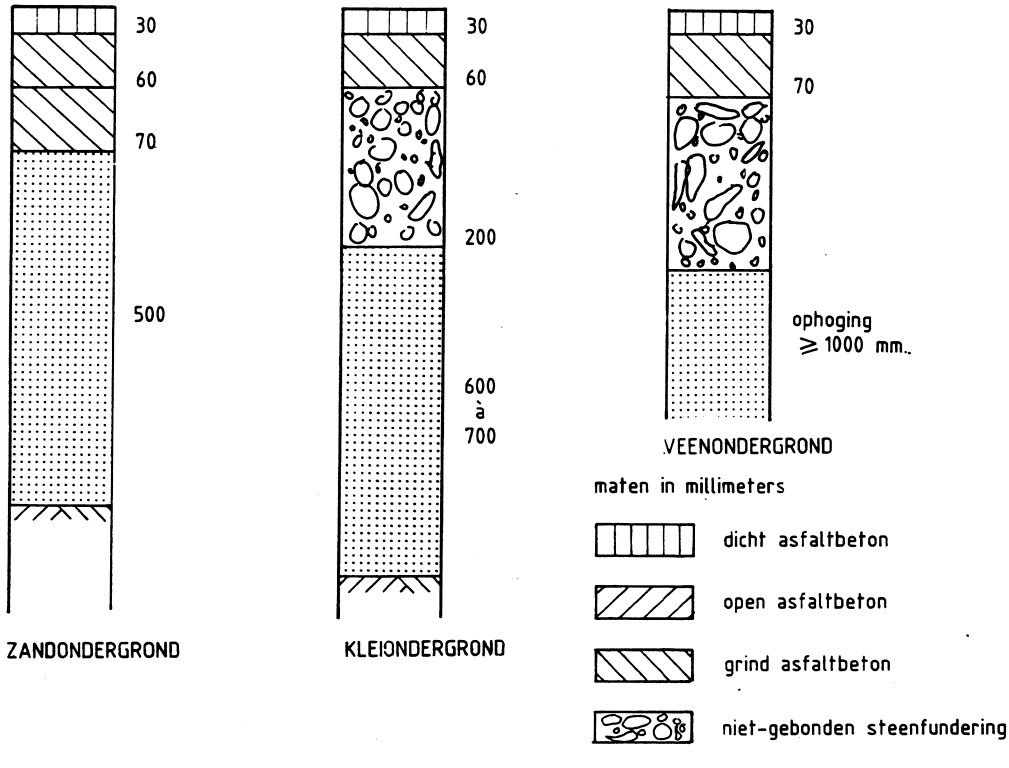
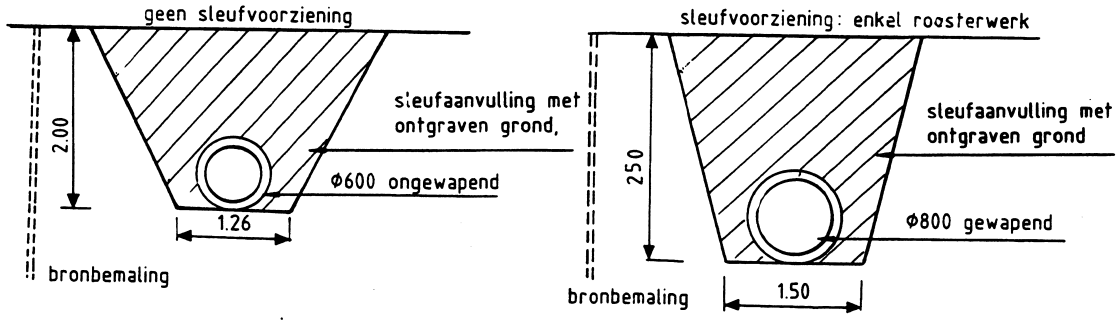
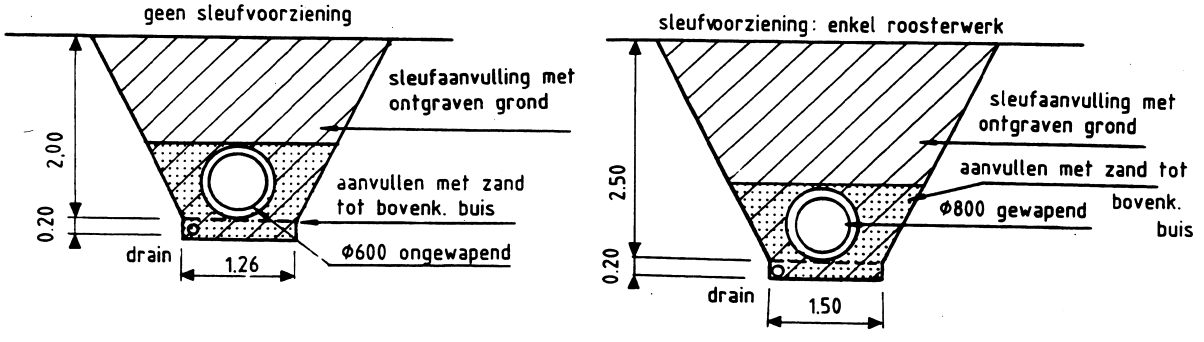


Fig. 4.6. Principe-doorsnede van een aantal typen wegen [4-11]

RIOOLSLEUVEN ZANDGROND



RIOOLSLEUVEN KLEIGROND



RIOOLSLEUVEN VEENGROND.

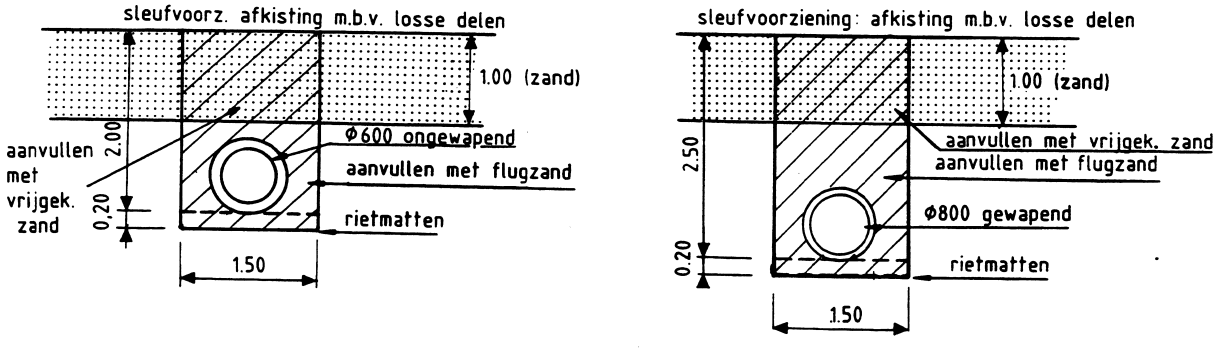


Fig. 4.7. Principe-doorsnede van een aantal typen rioleringssleuven

draagkrachtig, mits deze laag voldoende ontwaterd is. Door spoorvorming tijdens de bouwfase zal het vrijwel onmogelijk zijn deze laagdikte te handhaven en daarom zal de ophoogdikte minimaal 0,70 m moeten bedragen. Om aan de drooglegginsnorm te voldoen zal bij deze minimale ophoging het terrein intensief moeten worden gedraineerd. De minimum laagdikte van 0,70 m kan slechts dan worden toegepast:

1. Indien de zettingen die optreden ten gevolge van de ophoging zodanig beperkt blijven en de ontwateringsdiepte al groot is, dat na zetting de ontwateringsdiepte nog aan de gestelde eis voldoet. De vereiste ontwateringsdiepte is veelal 1,20 m of groter (fig. 4.8-a);

2. Indien het polderpeil vrij kan worden vsstgesteld. Het nieuwe peil moet dan voldoende diep zijn ingesteld beneden het door ophoging verhoogde en door zetting verlaagde maaiveld (fig. 4.8-b).

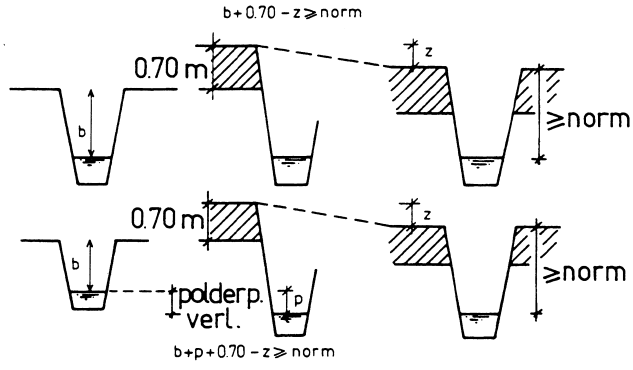


Fig. 4.8. De minimale ophoging

Zandbalans bij integraal opgehoogde terreinen
De zandbalans wordt gebruikt voor het bepalen van de dikte van de zandlaag die moet worden aangebracht. De aanleghoogte van de verschillende onderdelen van een woonwijk verschillen echter, net zoals dat het geval is bij de cunettenmethode (fig. 4.3). Uitgangspunt bij de berekening van de zandbalans is een minimaal grond- en zandverzet. Er wordt vanuit gegaan dat minimaal grond- en zandverzet wordt uitgevoerd als bij de werkzaamheden tijdens het bouw- en woonrijp maken geen zand behoeft te worden aangevoerd of afgevoerd van het bouwterrein.
In verband met zetting kan er echter een grotere zanddikte nodig zijn zodat zeker geen zand behoeft te worden aangevoerd. Met de zandbalans kan in dit geval bepaald worden welke aanlegpeilen de bebouwde en onbebouwde oppervlakken moeten krijgen om een zo gering mogelijk zandverzet te hebben. In beide gevallen moeten de totale ophogingen gelijk zijn aan de totale ontgravingen.

De onbekende factor in de zandbalans is de dikte van de ophoging. Deze is in fig. 4.9 gelijk gesteld aan X. Verder is uitgegaan van de maten en peilen zoals in fig. 4.9 is weergegeven; deze zijn hetzelfde als in par. 4.3. Het grachtprofiel is in de figuur aangegeven.

Per woning wordt de balans:

Ontgraven van zand:

woning kruipruimte	$60(X - 0{,}78) = 60X - 46{,}8$
openbaar groen	$15(X - 0{,}93) = 15X - 13{,}95$
gracht/singel	$10X \qquad + 4X^2$
	$85X - 60{,}75 + 4X^2$

Ophogen met zand:

tuinen	$80(1{,}03 - X) = 82{,}4 - 80X$
ontsluitingswegen	$7(1{,}00 - X) = 7 - 7X$
woonstraten	$26(1{,}07 - X) = 27{,}82 - 26X$
parkeren	$17(1{,}06 - X) = 18{,}02 - 17X$
paden	$25(1{,}21 - X) = 30{,}25 - 25X$
naast de gracht	$= 5{,}76 - 9{,}6X + 4X^2$
	$171{,}25 - 164{,}6X + 4X^2$

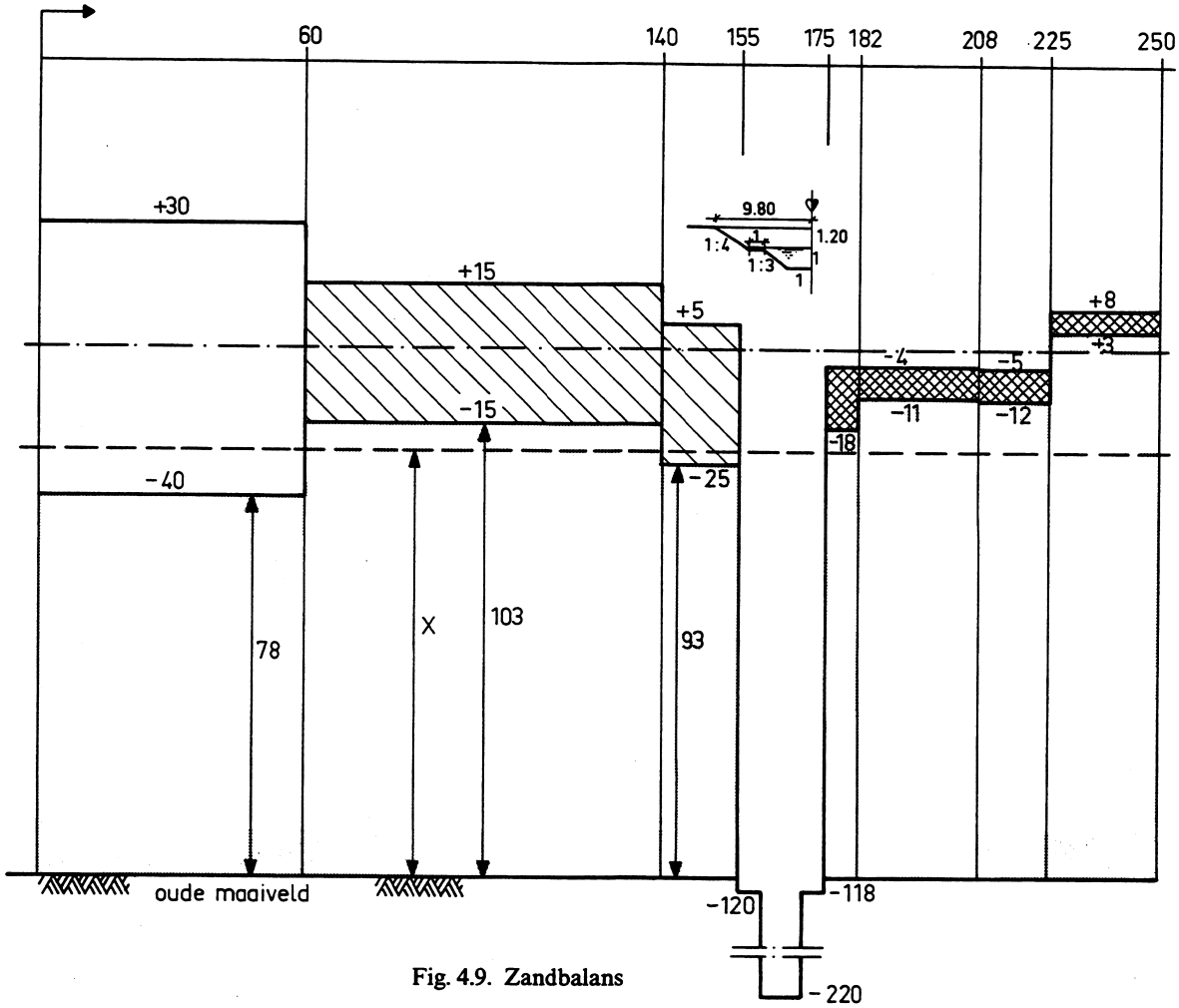


Fig. 4.9. Zandbalans

Ontgraving = Ophoging

$$85X - 60{,}75 + 4X^2 = 171{,}25 - 164{,}6X + 4X^2$$
$$X = 0{,}93$$

De ophoogdikte zal dus 0,93 m zand bedragen om een minimaal zandverzet te krijgen. In de praktijk zal niet, zoals in dit voorbeeld, eerst een dunne laag zand aangebracht of verwijderd worden onder de zwarte grond (fig. 4.9-aa), zodat wat meer zand zal moeten worden aangebracht. Daarnaast zal 5 m^3 grond uit de gracht worden ontgraven terwijl ongeveer 28,5 m^3 grond nodig is. Van buiten het woongebied moet dus 23,5 m^3 grond worden aangevoerd.
Bovenstaande uitkomst betekent dat bij toepassen van een minimale laagdikte van 0,70 m later zand moet worden aangevoerd van buiten het bouwterrein. Er is ook extra grondverzet nodig omdat de zanddikte ter plaatse van de ontsluitingswegen onvoldoende is en het cunet dus moet worden uitgediept en met zand aangevuld. Ook bij de met de zandbalans bepaalde ophoogdikte moet gecontroleerd worden of de ontwateringsdiepte na ophoging en zetting voldoende is.

Bij de bepaling van de dikte van de zandlaag bij integraal ophogen is in het voorgaande uitgegaan van de gesloten zandbalans. Een ander uitgangspunt voor de bepaling van de minimale dikte van de zandlaag is mogelijk. Om aan de drooglegginsgeis voor het bouwterrein te kunnen voldoen spelen twee factoren een rol (hoofdstuk 5):

- Een dikke laag zand, waarbij een grote opbolling van het grondwater wordt toegelaten om de vereiste drooglegging a te krijgen. De drains kunnen relatief ver van elkaar liggen (fig. 4.10-a).
- Een dunne laag zand, waarbij een kleine opbolling wordt toegelaten om de vereiste drooglegging a te krijgen. De drains moeten dicht bij elkaar worden gelegd (fig. 4.10-b).

Waar het optimum ligt hangt af van de kosten die verbonden zijn aan elk van de maatregelen.

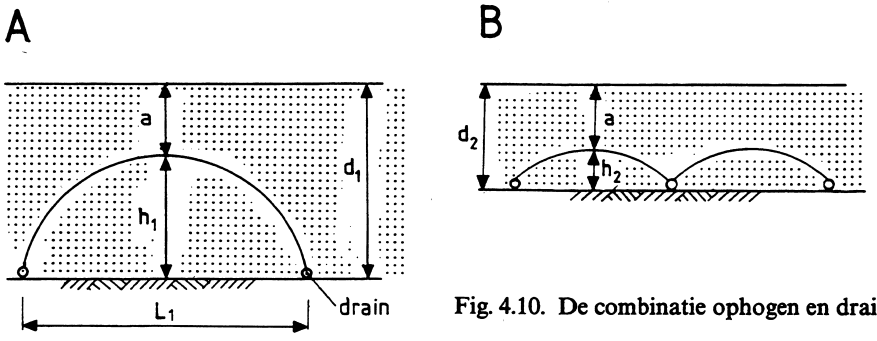


Fig. 4.10. De combinatie ophogen en drainage

De berekening van de drainage in een opgehoogd terrein kan uitgevoerd worden met een vereenvoudigde formule van Hooghoudt (par. 5.3)

$$L^2 = \frac{4 \cdot K \cdot h^2}{q} \tag{4.1}$$

De kosten van de drainage zijn:

$$K_D = \frac{10^4 \cdot X}{L} \tag{4.2}$$

K_D = Kosten drainage (fl./ha)
X = Kosten drainage (fl./m[1])
L = Drainafstand (m)

De drainafstand L kan bepaald worden met vergelijking (4.1); ingevuld in de tweede vergelijking geeft dat:

$$K_D = \frac{10^4 \cdot X \cdot \sqrt{q}}{2 \cdot h \cdot \sqrt{K}} \tag{4.3}$$

De kosten van de zandophoging bedragen per hectare:

$$K_Z = 10^4 \cdot Y \cdot (a + h) \tag{4.4}$$

K_Z = Kosten zand (fl./ha)
Y = Kosten zand (fl./m[3])
a = Drooglegginsgeis (m)
h = Opbolling grondwater tussen de drains (m)

De totale kosten zijn dus:

$$K_T = K_Z + K_D = \frac{10^4 \cdot X \cdot \sqrt{q}}{2 \cdot h \cdot \sqrt{K}} + 10^4 \cdot Y \cdot (a + h) \tag{4.5}$$

Deze kosten zijn minimaal als de eerste afgeleide van de kosten over de opbolling h gelijk is aan nul

$$\frac{dK_T}{dh} = -\frac{10^4 \cdot X \cdot \sqrt{q}}{2 \cdot h^2 \cdot \sqrt{K}} + 10^4 \cdot Y = 0 \tag{4.6}$$

$$h^2 = \frac{X\sqrt{q}}{2Y\sqrt{K}} \tag{4.7}$$

Voor een bepaalde opspuiting zijn X en Y bij benadering bekend. Uit de eisen die aan de ontwatering worden gesteld is de afvoer q bekend, evenals a. Van het opspuitzand is de doorlatendheid K bekend. Hiermee is h te berekenen en daarmee is de optimale dikte van de zandlaag bekend.

Voorbeeld:
Kosten drainage $X = f\,7{,}50$ per m^1
Kosten zand $Y = f\,10{,}-$ per m^3
Afvoer $q = 10$ mm/etm
Drooglegging $a = 0{,}70$ m
Doorlatendheid $K = 3$ m/etm

$$h^2 = \frac{7{,}5 \cdot \sqrt{10^{-2}}}{2 \cdot 10 \cdot \sqrt{3}} \rightarrow h = 0{,}15\,\text{m}$$

De benodigde zanddikte $h + a = 0{,}85$ m.

4.5 Zetting van opgehoogde terreinen

Indien het polderpeil niet of niet voldoende kan worden verlaagd en als de zettingen zodanig groot zijn dat na ophoging de vereiste ontwateringsdiepte niet wordt gehaald, dan moet meer worden opgehoogd dan in de voorgaande paragraaf is berekend. Er moet dan een onderscheid gemaakt worden tussen een netto- en een bruto-ophoging. De netto-ophoging is de hoogte van het nieuwe maaiveld boven het niveau van het oude maaiveld. De bruto-ophoging is de netto-ophoging plus het deel van de ophoging dat wegzakt onder het niveau van het oorspronkelijke maaiveld.

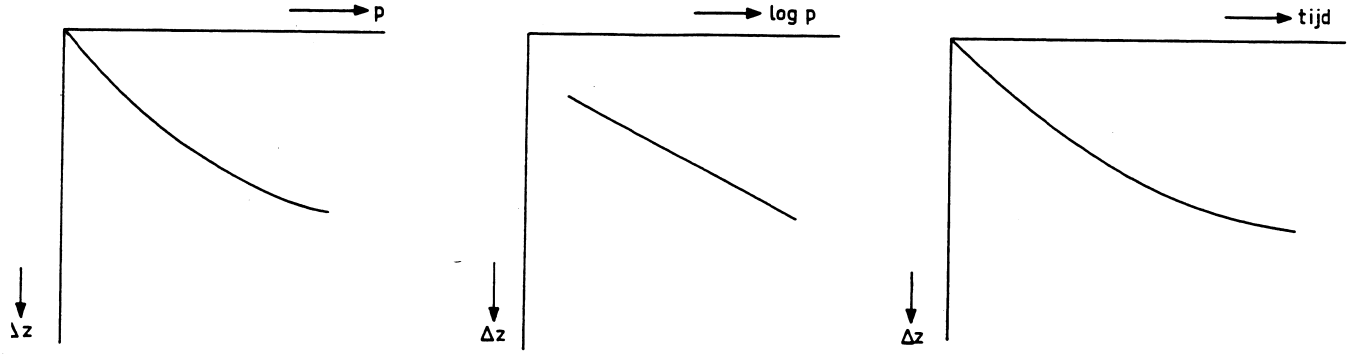


Fig. 4.11. Tijd-zakkingsdiagram en last-zakkingsdiagram

Er blijkt een rechtlijnig verband te bestaan tussen de zetting en de logaritme van de belasting [4-1]. Dit wordt weergegeven in de volgende formule (fig. 4.11):

$$\frac{\Delta z}{z} = \frac{1}{C} \ln \frac{p'_2}{p'_1} \tag{4.8}$$

z = de dikte van de samengedrukte laag (m)
Δz = de samendrukking van de laag onder invloed van een belastingverhoging van p'_1 tot p'_2 (m)
p'_1 = oorspronkelijke korrelspanning (kN/m^2)
p'_2 = nieuwe korrelspanning (kN/m^2)
C = samendrukkingsconstante

Dit is de logaritmische samendrukkingswet van Terzaghi. De grootte van C is afhankelijk van de aard van de grond en wordt door middel van samendrukkingsproeven in het laboratorium bepaald. Een indruk van de orde van grootte van de C-waarde geeft de volgende lijst:

zand	$C = 20 - 200$
leem en klei	$C = 10 - 20$
veen	$C = 2 - 7$

De formule van Terzaghi geeft de waarde van de zetting zoals die uiteindelijk wordt bereikt bij een bepaalde belasting. Bij klei en veen wordt deze waarde pas na langere tijd bereikt. De oorzaak hiervan is gelegen in het feit dat het water, dat tussen de gronddeeltjes aanwezig is, er uitgeperst wordt waardoor de zakking ontstaat die bij de belasting hoort. Dit verschijnsel wordt verklaard met de consolidatietheorie [4-1]. De tijd die nodig is om de eindzetting te bereiken wordt hydrodynamische periode genoemd. Terzaghi geeft voor de totale tijd die verloopt voor de eindzetting wordt bereikt:

$$t_e = \frac{m_v \cdot \gamma_w \cdot h^2}{2K} \tag{4.9}$$

t_e = praktisch einde van de consolidatie (s)
m_v = samendrukkingscoëfficiënt (m^2/kN)
γ_w = volumegewicht water (kN/m^3)
h = dikte van de samendrukbare laag (m)
K = doorlatendheid van de grond (m/s)

Terzaghi heeft een grafiek samengesteld, waarin de procentuele samendrukking is uitgezet tegen het procentuele tijdsverloop (fig. 4.12). Volgens de consolidatietheorie verloopt de zetting asymptotisch naar een eindwaarde, die ten tijde van t_e nagenoeg bereikt is. Dit blijkt in werkelijkheid niet juist te zijn; ook na het praktische einde van de consolidatie blijkt de zetting door te gaan. Dit verschijnsel is door Keverling-Buisman het seculair-effect genoemd [4-1].
Koppejan heeft de logaritmische samendrukkingswet van Terzaghi gecombineerd met de bevindingen van Keverling-Buisman met betrekking tot de seculaire zetting. De formule van Koppejan luidt:

$$\Delta z = Z\left(\frac{1}{C_p} + \frac{1}{C_s}\log\frac{t}{t_0}\right)\ln\frac{p'_2}{p'_1} \tag{4.10}$$

z = de dikte van de samengedrukte laag (m)
Δz = de samendrukking van de laag onder invloed van een belastingverhoging van p'_1 tot p'_2
p'_1 = oorspronkelijke korrelspanning (kN/m^2)
p'_2 = korrelspanning na belastingverhoging (kN/m^2)
C_p = primaire samendrukkingsconstante
C_s = seculaire samendrukkingsconstante
t_0 = tijdseenheid (1 dag)
t = tijd van belasten

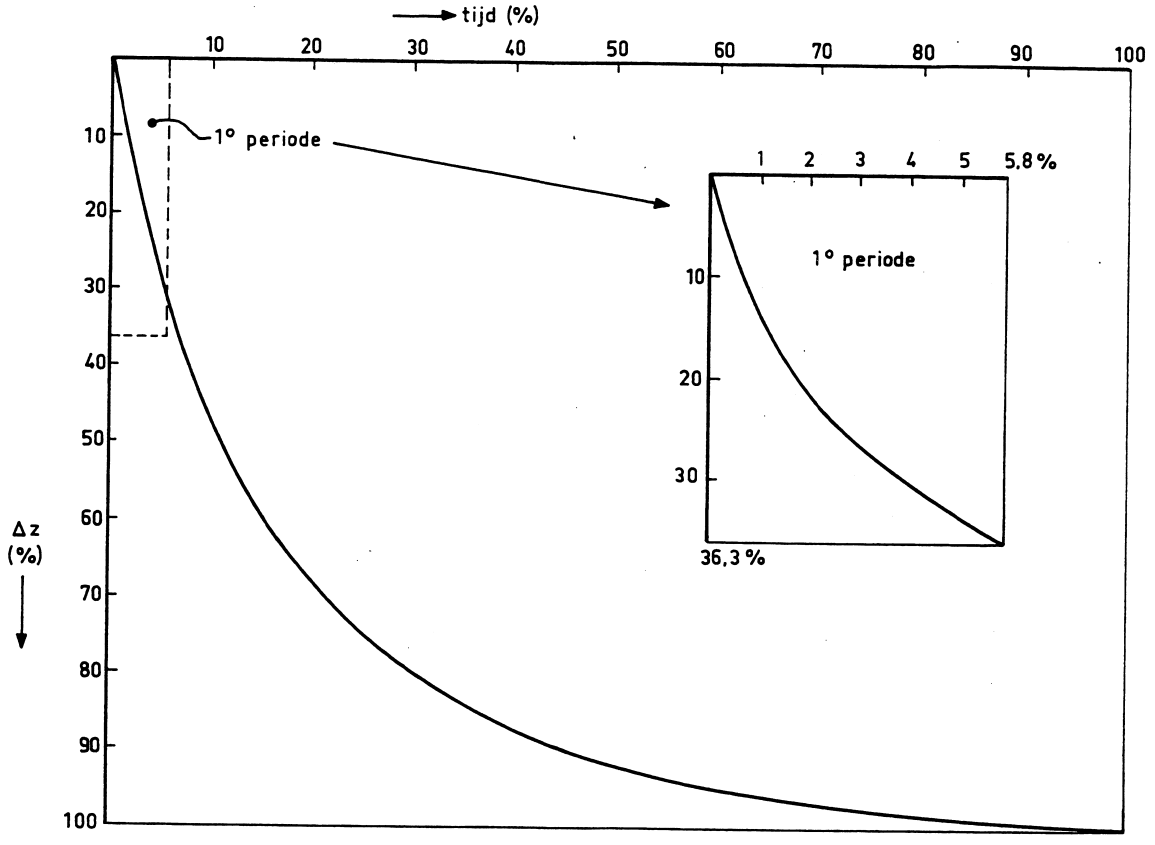


Fig. 4.12. Het zakkingsverloop volgens Terzaghi

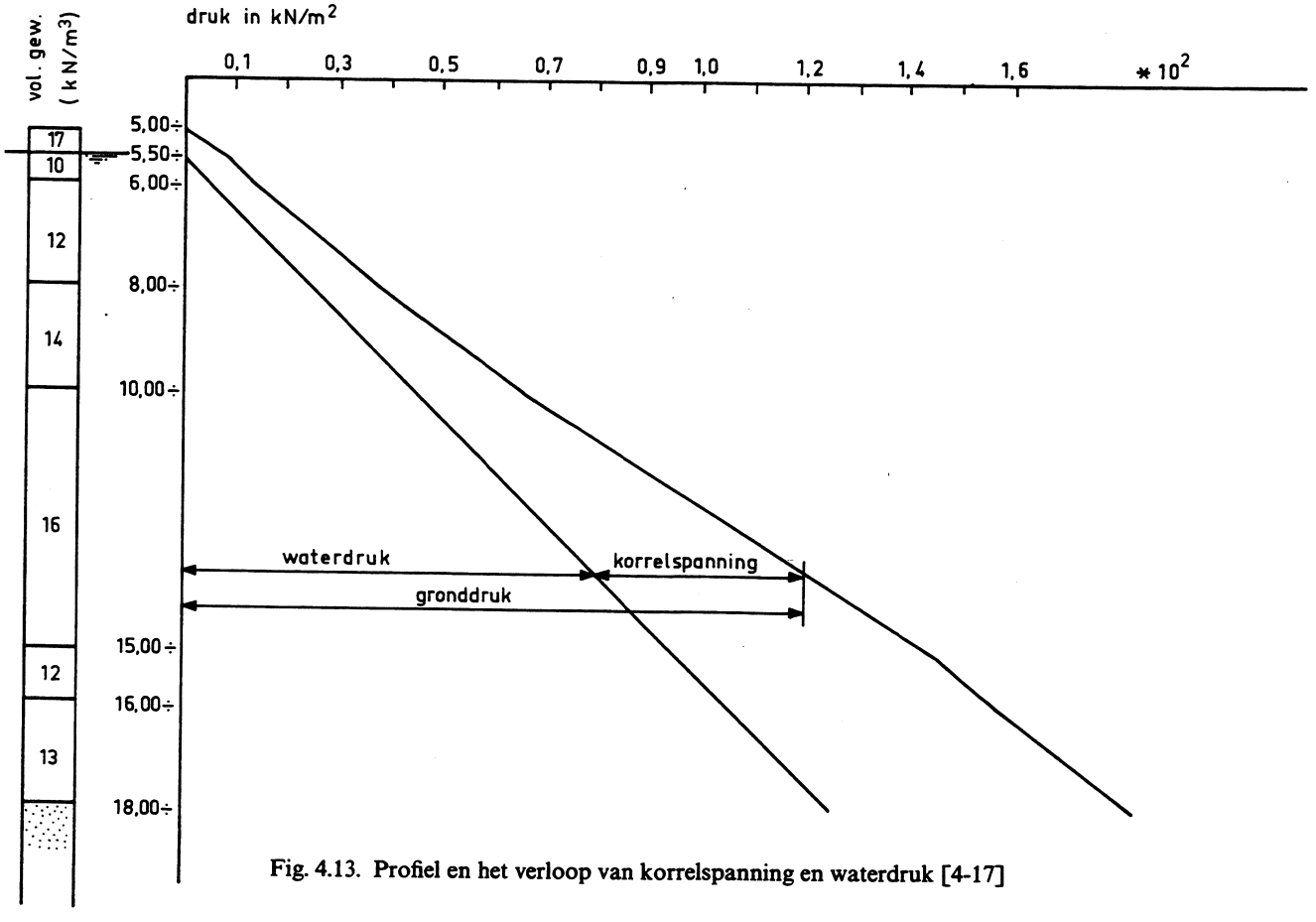


Fig. 4.13. Profiel en het verloop van korrelspanning en waterdruk [4-17]

De zettingsberekening voor een ophoging wordt hier geïllustreerd aan de hand van een ophoging van de Oost-Abtspolder in Rotterdam [4-17]. In fig. 4.13 is het profiel weergegeven met daarbij het volumegewicht van elke laag en het verloop van de korrelspanning en waterdruk bij de oorspronkelijke terreingesteldheid. Als het verloop van de oorspronkelijke korrelspanning en van de nieuwe korrelspanning na belastingverhoging op half-logaritmische schaal wordt uitgezet (fig. 4.14), dan is het oppervlak tussen de lijnen die $\log p'_2$ en $\log p'_1$ aangeven gelijk aan:

$z \cdot \log(p'_2 - p'_1)$

Als dit vermenigvuldigd wordt met $\left(\frac{1}{C_p} + \frac{1}{C_s}\log\frac{t}{t_0}\right)$ dan berekent men de zetting Δz (vergelijking (4.10)). Hierbij moet nog een schaalfactor verwerkt worden waarmee de verticale en horizontale schaal van de figuur kloppend wordt gemaakt. Zo is 1 cm verticaal in fig. 4.14 in werkelijkheid 1 m, hetgeen betekent dat de gemeten oppervlak met 10^2 moet worden vermenigvuldigd om de juiste waarde te krijgen. In de hier gegeven figuur is de horizontale afstand $\log 10^2 - \log 10 = 9$ cm terwijl dit in werkelijkheid 1 moet zijn; de gemeten oppervlak moet dus door 9 worden gedeeld. Tenslotte moet de gemeten oppervlak met 2,3 worden vermenigvuldigd in verband met de overgang van ln naar log. De schaalfactor is dus $100 \times 2{,}3/9 = 25{,}6$. In tabel 4.7 is de berekening van het voorbeeld uitgewerkt.

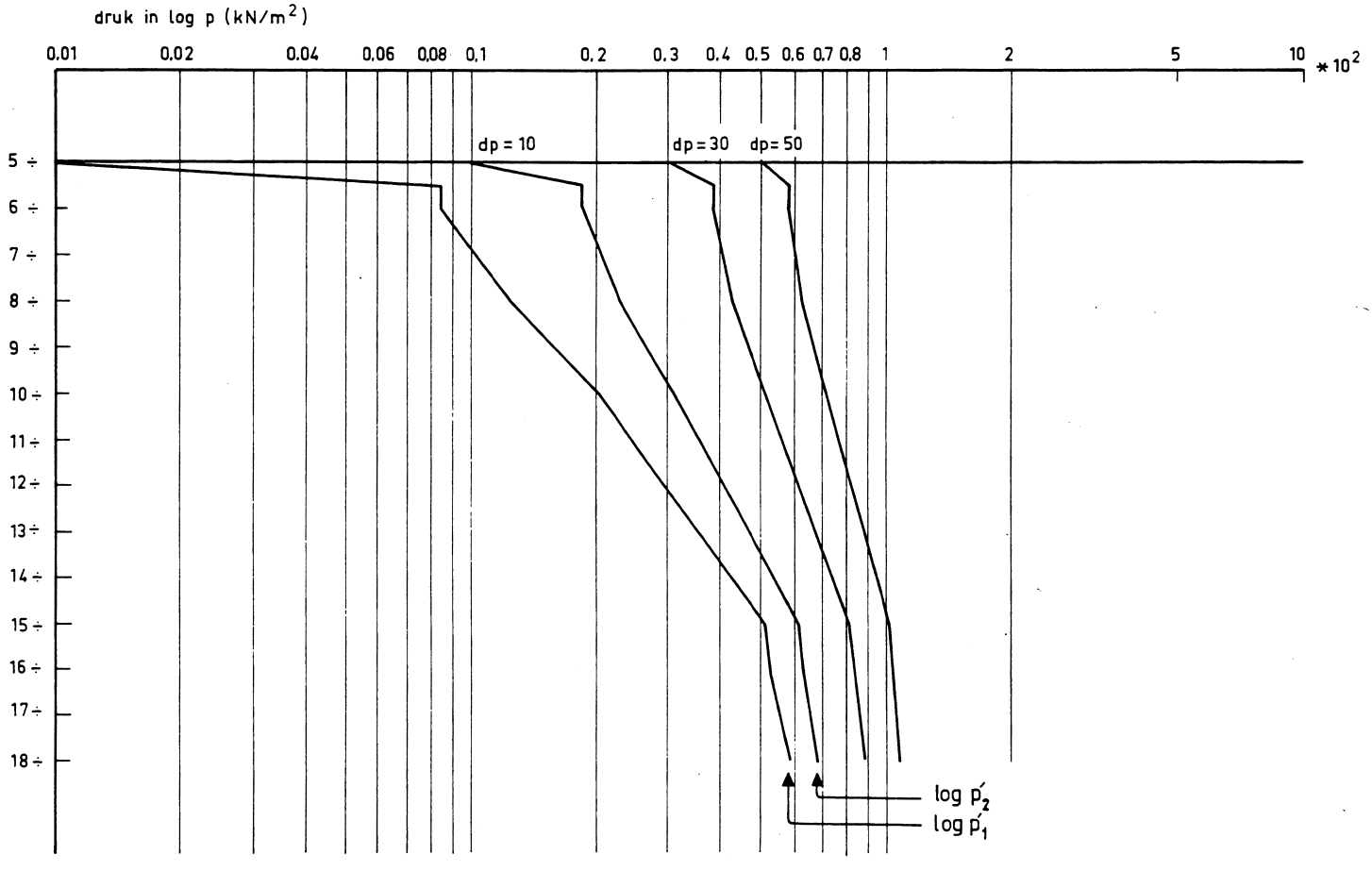


Fig. 4.14. Oorspronkelijke korrelspanning en verschillende belastingverhogingen op half-logaritmische schaal

Na 1 dag, bij een belastingverhoging $dp = 30\,kN/m^2$, is (tabel 4.7):

$$\Delta Z = \frac{25{,}6A}{C_p} + \frac{25{,}6A}{C_s}\log\frac{t}{t_0}$$

$\Delta Z = 1{,}075 + 0{,}216 \cdot \log 1 = 1{,}075\,m$

Na 10 dagen geldt voor $\log 10 = 1$ en is:

$\Delta Z = 1{,}075 + 0{,}216 = 1{,}290\,m$

Na 1 jaar geldt voor $\log 365 = 2{,}562$ en is:

$\Delta Z = 1{,}075 + 2{,}562 \cdot 0{,}216 = 1{,}630\,m$

Het last–zakkingsdiagram is weergegeven in fig. 4.15. Het tijd–zakkingsdiagram kan bepaald worden door invulling van een groter aantal waarden voor t in het deel $\left(\frac{1}{C_s}\log\frac{t}{t_0}\right)$ van de vergelijking (4.10).

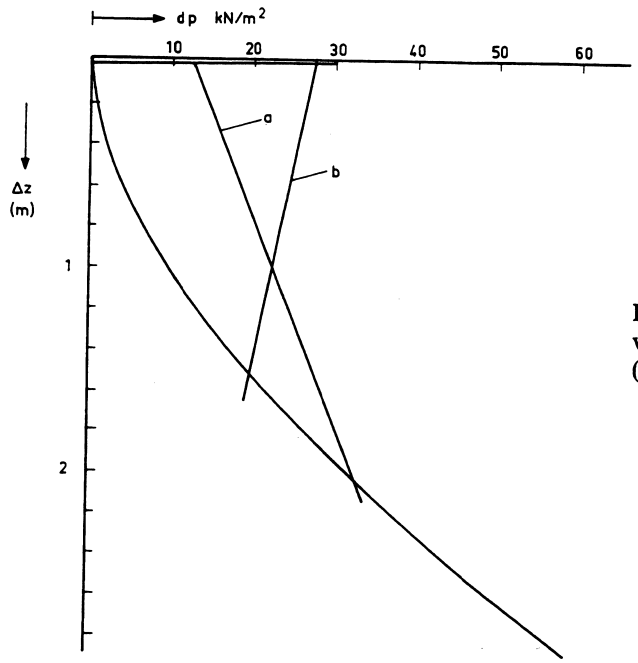


Fig. 4.15. Last–zakkingsdiagram van het profiel van fig. 4.13 (t_e = 30 jaar)

Tabel 4.7. Zettingsberekening met de formule van Koppejan voor profiel volgens fig. 4.13

laag	volgew. (kN/m³)			dp = 10 kN/m²			dp = 30 kN/m²			dp = 50 kN/m²		
		$\frac{1}{C_p}$	$\frac{1}{C_s}$	A (cm²)	$\frac{25{,}6A}{C_p}$	$\frac{25{,}6A}{C_s}$	A (cm²)	$\frac{25{,}6A}{C_p}$	$\frac{25{,}6A}{C_s}$	A (cm²)	$\frac{25{,}6A}{C_p}$	$\frac{25{,}6A}{C_s}$
5,00 – 5,50	17	0,04	0,003	3,00	3,07	0,23	4,75	4,86	0,37	5,65	5,79	0,43
5,50 – 6,00	10	0,16	0,04	1,5	6,14	1,54	2,95	12,08	3,02	3,75	15,36	3,84
6,00 – 7,00	12	0,10	0,02	2,85	7,30	1,46	5,60	14,34	2,87	7,25	18,56	3,71
7,00 – 8,00	12	0,15	0,03	2,45	9,41	1,88	5,10	19,58	3,92	6,60	25,34	5,07
8,00 –10,00	14	0,07	0,01	3,30	5,91	0,84	8,30	14,87	2,13	11,20	20,07	2,87
10,00 –15,00	16	0,08	0,015	4,95	10,14	1,90	13,60	27,85	5,22	18,85	38,60	7,24
15,00 –16,00	12	0,13	0,04	0,7	2,33	0,72	1,80	5,99	1,84	2,70	8,97	2,77
16,00 –18,00	13	0,09	0,025	1,36	3,13	0,87	3,46	7,97	2,21	5,10	11,75	3,26
Totaal Δz (cm)					47,43	9,44		107,54	21,58		144,44	29,19

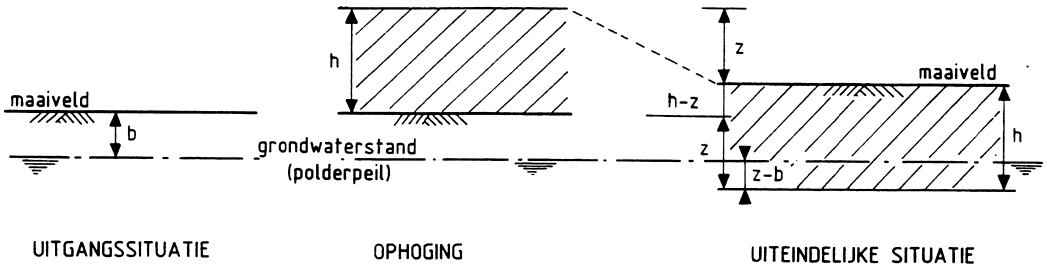


Fig. 4.16. Bruto-ophoging

De zanddikte die men moet aanbrengen om een bepaalde netto-ophoging als resultaat te krijgen kan men bepalen met de constructielijn volgens de vergelijking (fig. 4.16):

$$\Delta p = \{h - (z - b)\}\gamma_{dz} + (z - b)(\gamma_{gz} - \gamma_w) - b \cdot \gamma_w \qquad (4.11)$$

Men kan volgens deze vergelijking een lijn trekken in het last–zakkingsdiagram (fig. 4.15). Het snijpunt van deze lijn met het last–zakkingsdiagram geeft de zetting bij het verkrijgen van een bepaalde netto-ophoging. Op dezelfde wijze kan men de zetting bepalen bij een bepaalde gegeven bruto-ophoging of de zetting bij een bepaalde ophoging gecombineerd met polderpeilverlaging.

Voorbeeld
Last–zakkingsdiagram fig. 4.15 behorende bij profiel fig. 4.13. Het polderpeil (= gemiddelde grondwaterstand) blijft gehandhaafd.

$\gamma_{gz} = 20\,kN/m^3$ (nat zand)
$\gamma_{dz} = 15\,kN/m^3$ (droog zand)
$\gamma_w = 10\,kN/m^3$
$b = 0{,}50\,m$

a. De vereiste ontwateringsdiepte = 1,50 m, dus: $h - (z - b) = 1{,}50\,m$
$\Delta p = 1{,}5 \cdot 15 + (z - 0{,}5)(20 - 10) - 0{,}5 \cdot 10$
$\Delta p = 12{,}5 + 10z$
$z = 0 \quad \Delta p = 12{,}5\,kN/m^2$
$z = 1 \quad \Delta p = 22{,}5\,kN/m^2$
Dit geeft lijn a in fig. 4.15. Uit de figuur is af te lezen dat $z = 2{,}00\,m$; de vereiste ophoging is dus $h = 3{,}00\,m$.

b. De ophoging bedraagt $h = 2{,}00\,m$
$\Delta p = (2 - z + 0{,}5) \cdot 15 + (z - 0{,}5)(20 - 10) - 0{,}5 \cdot 10$
$\Delta p = 27{,}5 - 5z$
$z = 0 \quad \Delta p = 27{,}5\,kN/m^2$
$z = 1 \quad \Delta p = 22{,}5\,kN/m^2$
Dit geeft lijn b in fig. 4.15. Uit de figuur is af te lezen dat $z = 1{,}50\,m$; de ontwateringsdiepte wordt $b = 1{,}00\,m$.

Het versnellen van de zetting
De op de grond uitgeoefende druk wordt door de korrels en het water opgenomen (fig. 4.17.a)

$$\sigma_{grond} = \sigma_{korrels} + \sigma_{water}$$

Het aanbrengen van een belasting leidt in eerste instantie tot een vergroting van de waterspanning in het slecht doorlatende samendrukbare pakket onder de grondwaterspiegel (fig. 4.17.b). Daar waar het pakket in contact staat met waterdoorlatende

grondlagen, waarin de oorspronkelijke waterspanning niet is beïnvloed, treedt door het drukverschil afstroming op totdat de wateroverspanning verdwenen is (fig. 4.17.c). Terzaghi heeft voor de in fig. 4.17.b aangegeven situatie een formule opgesteld voor het berekenen van de duur van de hydrodynamische periode (vergelijking 4.9, zie voorgaande). In deze formule blijkt dat de invloed van de dikte van de slappe laag op de duur van de hydrodynamische periode groot is: de afstand die het uit te persen grondwater moet afleggen is groot (fig. 4.17.e). Wordt in de grond verticale drainage aangebracht, dan wordt de afstand die het grondwater moet afleggen aanzienlijk bekort (fig. 4.17.f).

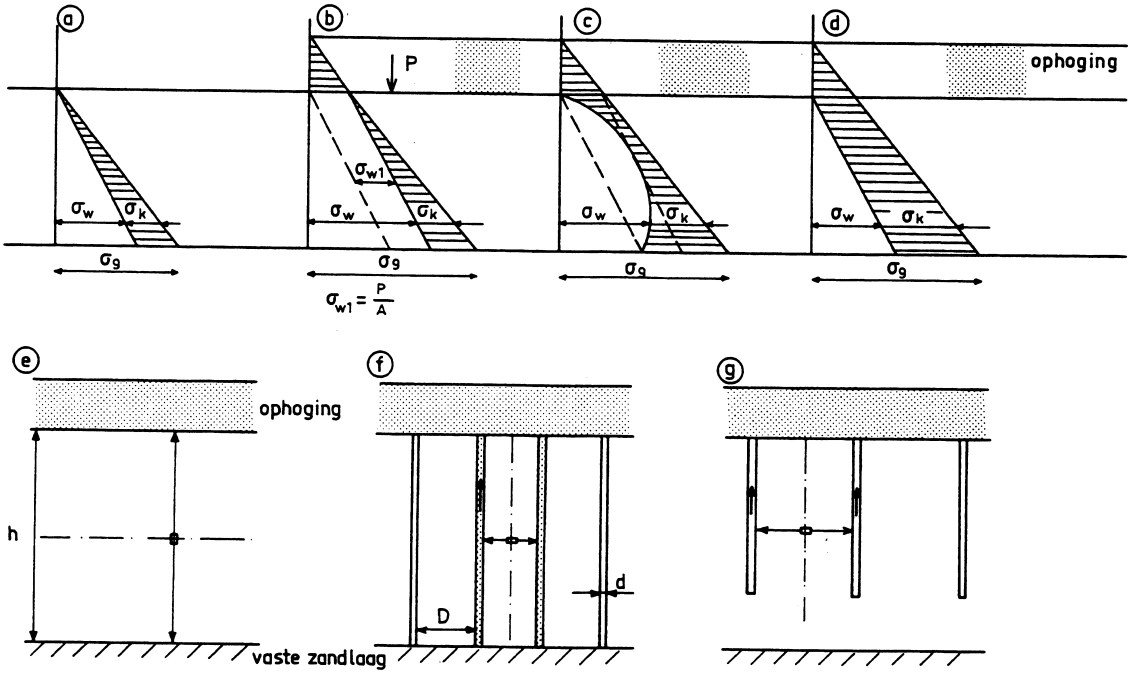


Fig. 4.17. Zetting en zettingsversnelling

Als het water sneller kan afstromen zal ook eerder het einde van de hydrodynamische periode worden bereikt. Om bij verticale drainage de duur van de hydrodynamische periode te berekenen heeft Kjellmann een formule afgeleid [4-18]

$$t_e = \frac{m_v \cdot \gamma_\omega \cdot D^2}{8 \cdot K_h} \cdot \left[\ln\left(\frac{D}{d}\right) - \tfrac{3}{4} \right] \cdot 5 \qquad (4.12)$$

D = hart op hart afstand van de drains
d = diameter van de drain
K_h = horizontale doorlatendheid

Als de stijghoogte van het grondwater in de diepe watervoerende laag tot boven het maaiveld komt moeten de verticale drainages boven het scheidingsvlak van de lagen blijven (fig. 4.17.g).
Als verticale drainage kunnen verticale zandpalen worden aangebracht. De diameter van de zandpalen wordt meestal tussen 0,15 en 0,30 m genomen, terwijl de onderlinge afstand varieert tussen de 2,00 en 4,00 m. De drains worden veelal in een stramien van gelijkzijdige driehoeken aangebracht. Ter besparing van de hoeveelheid te verwerken materiaal worden ook wel ovale zanddrains toegepast 0,30 × 0,07 m. Bij eenzelfde omtrek (die bepalend is voor de afvoermogelijkheid) als die van gebruikelijke ronde zandpalen is dan slechts ongeveer de helft van het zand nodig.

Daarnaast zijn ook drains van andere materialen ontwikkeld [4-19], zoals Geodrains en Colbonddrains. Geodrains bestaan uit een plastic strip voorzien van ribbels met daaromheen geïmpregneerd karton. Het doorstroombare oppervlak voor waterafvoer van een 10 cm brede strip bedraagt 200 mm^2. Colbonddrains bestaan uit kunstvezeldoek van 0,30 m breed en 0,04 m dik. De diepten van de toepassingen gaan tot 35 m beneden maaiveld.

4.6 Tijdstip van ophogen

Het beste tijdstip van het aanbrengen van een zandophoging kan theoretisch bepaald worden door het tijdstip te berekenen waarop de kosten minimaal zijn. Hierbij zijn de volgende kostenfactoren van belang:
- renteverlies over het geïnvesteerd kapitaal,
- renteverlies over de verwerving van de grond,
- onderhoudskosten.

Indien de periode tussen de ophoging en de bouwwerkzaamheden wordt vergroot zal de te betalen rente over de kosten van de ophoging en de verwerving groter worden. Indien de periode tussen de ophoging en de bouwwerkzaamheden wordt vergroot zal de reeds voltooide zetting groter zijn en daarmee de onderhoudskosten van paden, verharding, riolering en kabels en leidingen lager. De eerste twee kostenfactoren hebben als effect een toename met de tijd tussen ophoging en bouw. De laatste kostenfactor heeft als effect een afname met de tijd tussen ophoging en bouw. De som van drie bovenstaande factoren heeft op een bepaald tijdstip na het gereedkomen van de ophoging een minimum.
Voor de cunettenmethode is deze benadering niet zo relevant omdat de zettingen in het algemeen beperkt zijn, behalve in uitgesproken veengebieden. Echter, cunetten kunnen pas aangelegd worden als het stedebouwkundig plan tot in details bekend is. De mogelijkheid om dan een langere tijd te wachten met de bouw tot de zettingen voor een belangrijk deel zijn uitgewerkt is meestal niet aanwezig. Bij grotere zettingen zal dan zettingsversnelling door middel van bijvoorbeeld verticale drainage gewenst zijn.

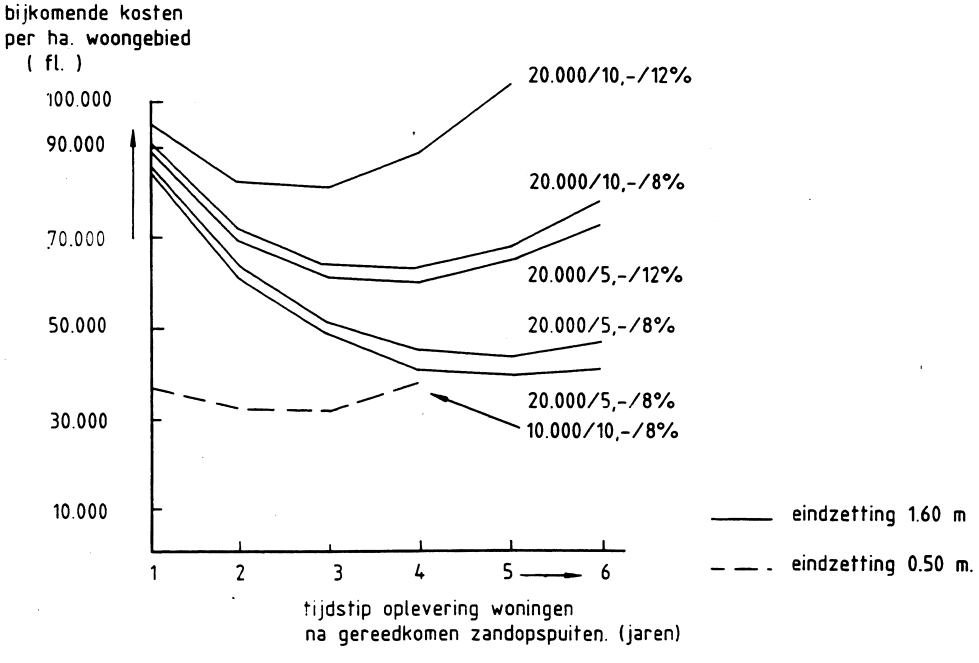


Fig. 4.18. Bijkomende kosten zandopspuitingen; gebied met eindzetting 1,60 m en 0,50 m. Onderhoudskosten *f* 1000,–/ha/cm zetting. Verwervingskosten *f* 10000,–/ha of *f* 20000,–/ha. Zandkosten *f* 5,–/m^3 of *f* 10,–/m^3. Rente 8% of 12%

Bij integraal ophogen bestaat wel de mogelijkheid om het terrein een zekere tijd te laten zetten omdat gedurende die tijd, onafhankelijk van de opspuiting, het stedebouwkundig plan kan worden gemaakt. Uiteraard moeten de begrenzingen van het stedebouwkundig plan en de opspuiting wel overeenkomen. In fig. 4.18 zijn de uitkomsten van enige berekeningen weergegeven.
Voor de berekeningen is uitgegaan van bepaalde zettingsverlopen en verder zijn een aantal aannames gedaan met betrekking tot de kostenposten. De uitkomsten geven aan dat het beste tijdstip voor een integrale zandophoging ongeveer 3 à 4 jaar voor de oplevering van de woningen ligt. In de praktijk blijken bouwpolitieke overwegingen deze ruimte vaak niet te geven, waarmee dan meestal impliciet kostenverhogingen aanvaard worden.
De effecten van zettingsversnellingen door middel van verticale drainage zijn weergegeven in fig. 4.19; de tijdwinst blijkt aanzienlijk terwijl de totale kosten wat hoger worden.

Ook het vroegtijdig aanbrengen van horizontale drainage kan een positieve invloed hebben op het versnellen van de zetting. Dit wordt voornamelijk veroorzaakt door het

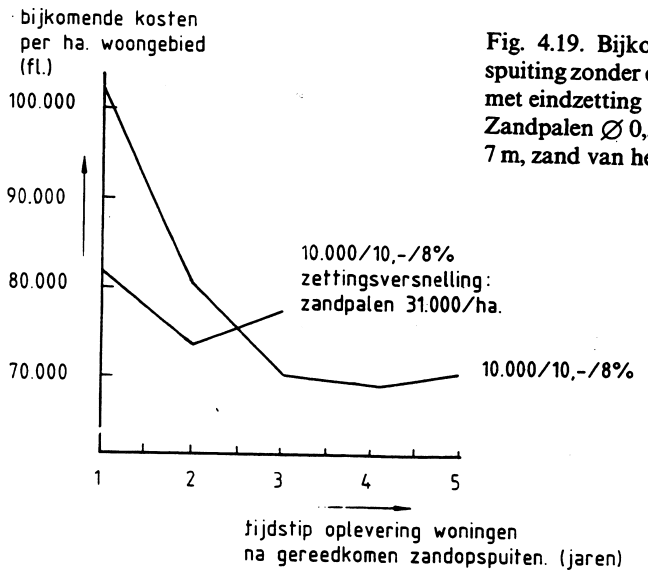


Fig. 4.19. Bijkomende kosten zandopspuiting zonder en met zandpalen; gebied met eindzetting 1,60 m.
Zandpalen ∅ 0,30 m, afstand 3 m, lengte 7 m, zand van het stort

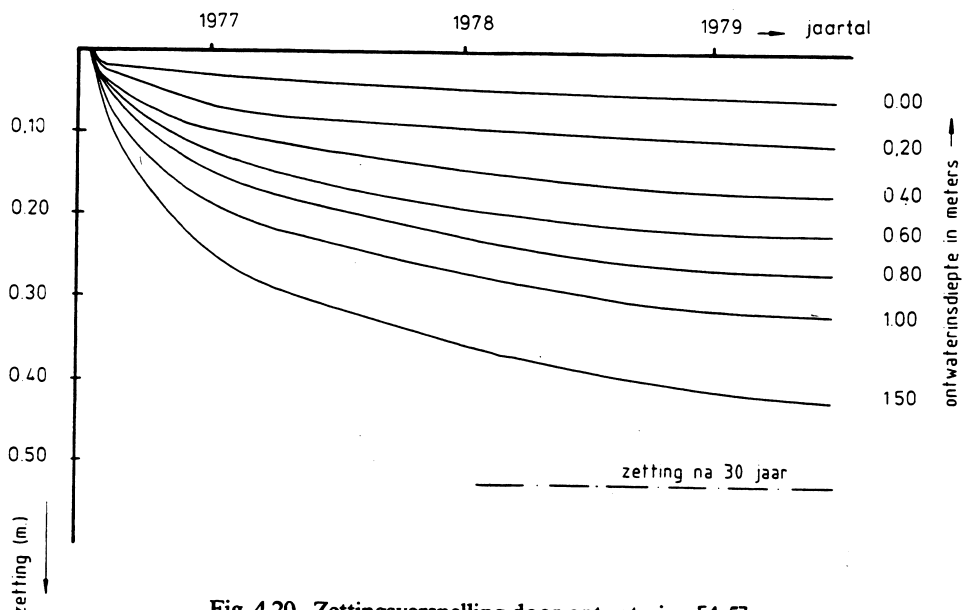


Fig. 4.20. Zettingsversnelling door ontwatering [4-5]

snel aanbrengen van een hogere belasting ten gevolge van het droge zand. In fig. 4.20 is in een voorbeeld de zettingsversnelling weergegeven [4-5].
Versnelling van de zetting kan ook worden verkregen door het tijdelijk aanbrengen van een extra ophoging met zand. Dit wordt vooral toegepast bij hoofdwegen in een plan waar de cunettenmethode wordt toegepast en waar aanzienlijke zettingen worden verwacht.

4.7 Speciewinning en wijze van ophogen

4.7.1 Inleiding

Zand, grind en klei zijn oppervlakte-delfstoffen die alleen met een ontgrondingsvergunning van de provinciale- of rijksoverheid mogen worden gewonnen. In tabel 4.8 zijn deze delfstoffen nader onderscheiden. Tevens is de geschatte jaarlijkse behoefte aangegeven [4-20].
Ophoogzand wordt gebruikt voor de aanleg van dijken, wegen, spoorlijnen, bouwterreinen, vliegvelden en industrieterreinen. Met het winnen van zand en andere oppervlakte-delfstoffen zijn de laatste tijd problemen ontstaan in verband met tegenstrijdigheden tussen verschillende belangen. Het gaat daarbij om de belangen van het maken van werken, bijvoorbeeld bouwterreinen, economische belangen, natuur en milieu, waterbeheersing zowel kwantitatief als kwalitatief, recreatie, landbouw, drinkwatervoorziening en ruimtelijke ordening [4-20, 4-21].

Tabel 4.8. Oppervlakte-delfstoffen in Nederland, 1982 [4-20]

Oppervlakte-delfstoffen	Jaarlijkse behoefte
beton- en metselzand	17 à 18 $\times 10^6$ ton
grind	18 à 19 $\times 10^6$ ton
klei (grof keramische industrie)	6 $\times 10^6$ ton
ophoogzand	80 $\times 10^6$ m^3
mergel	4,5 $\times 10^6$ m^3

Aan zand worden kwaliteitseisen gesteld die verschillen met het doel waarvoor het gebruikt wordt. Aan industriezand worden hoge eisen gesteld. De eisen die aan ophoogzand en cunettenzand worden gesteld zijn in par. 4.1 besproken.

Alternatieven voor ophoogzand

Herhaalde malen is gepleit voor alternatieven voor ophoogzand om de nadelige effecten van zandwinning te vermijden. In principe zijn er een aantal mogelijkheden om de noodzakelijke hoeveelheid ophoogzand te beperken:
- het toepassen van alternatieve materialen;
- het beperken of achterwege laten van ophogingen door de locatiekeuze;
- het toepassen van alternatieve funderingsmethoden;
- het niet uitvoeren van geplande projecten.

Bij het toepassen van alternatieve materialen wordt vaak aan afvalmateriaal gedacht. Tabel 4.9 geeft de produktie van afvalstoffen en industriële bijprodukten in 1975 en mogelijke toepassingen. Gezien de omvang van de produktie van afvalstoffen en de geschatte behoefte aan ophoogzand zullen afvalstoffen slechts een beperkte bijdrage aan de behoefte aan ophoogzand kunnen leveren. Daar komt nog bij dat als ophoogmateriaal toepasbare afvalstoffen (zoals bouw- en sloopafval) beter kunnen worden gebruikt voor hoogwaardiger toepassingen, zoals weg-funderingsmateriaal. Tenslotte betekent het toepassen van afvalstoffen in terreinophogingen dat deze stoffen op een diffuse, ongecontroleerde wijze in het milieu worden verspreid. Dit moet voorkomen worden; gebonden toepassingen verdienen de voorkeur.

Tabel 4.9. Produktie en mogelijke toepassing van bulkafvalstoffen [4-22]

bulkafvalstoffen	produktie $\times 10^6$ ton	mogelijke toepassingen										
		asfaltbeton	betontoeslag	baksteen	cement	stenen, blokken	ophoogmateriaal	paklagen	stortsteen	terreinverharding	vulstof	zwavelzuur
bouw- en sloopafval	6,5	×	×				×	×	×	×		
baggerslib	20			×								
zuiveringsslib	3,5											
vliegas (elek. centr.)	0,5		×	×	×	×	(×)				×	
vliegas (vuilverbr.)	0,1		×	×	×	×					(×)	
slakken (elek. centr.)	0,1	×	×					×		×		
slakken (vuilverbr.)	0,4	×	×					(×)				
hoogovenslakken		×			×			×		×		
fosfaatertsslakken	0,7	×						×		×		
fosforzuurgips					×							×
afval rookgas-ontzwaveling					×							×
afval kolen-vergassing					×							×
mijnsteen		×	×	×				×	×			
tarra (suikerbiet)				×								

Andere materialen als flugzand, lava of geëxpandeerde kleikorrels zijn te duur voor normale ophogingen. Mogelijk is toepassing van dergelijke materialen in veengebieden met een hoge grondwaterstand wel een alternatief. In dergelijke gebieden moet in verband met de grote zettingen dusdanig veel zand worden opgebracht, dat genoemde lichte materialen mogelijk voordeliger zijn [4-23]. Ervaring in de wegenbouw is beschikbaar. Toepassingen voor het ophogen van hele woongebieden zijn er nog niet. De behoefte aan ophoogzand kan door een goede locatiekeuze aanzienlijk worden beperkt (par. 9.6). Fig. 4.21 geeft de zandbehoefte bij verschillende methoden van bouwrijp maken.
Voor het toepassen van alternatieve funderingsmethoden geldt hetzelfde als wat is opgemerkt bij de lichte materialen. Het verdient aanbeveling om oplossingen als de woonplatformmethode, waarbij woningen en ontsluiting op een doorgaande plaat zijn gefundeerd, voor veengebieden nader te onderzoeken [4-24].

4.7.2 Wingebieden

Wingebieden kunnen aan de hand van twee aspecten worden beoordeeld, ten eerste ten aanzien van de produktiekant en ten tweede ten aanzien van andere belangen.
Bij de zandwinning speelt de kostprijs een belangrijke rol. De factoren die de kostprijs bepalen zijn:
- de hoeveelheid aanwezig winbaar zand;
- de aard van het te winnen materiaal;
- de benodigde kwaliteitsverbetering;
- de vormgeving van de winput;
- de dikte van de bovengrond;
- de ontsluiting van de zandwinning;
- de transportafstand en de transportmiddelen.

De hoeveelheid aanwezig winbaar zand kan worden bepaald met behulp van bodem-

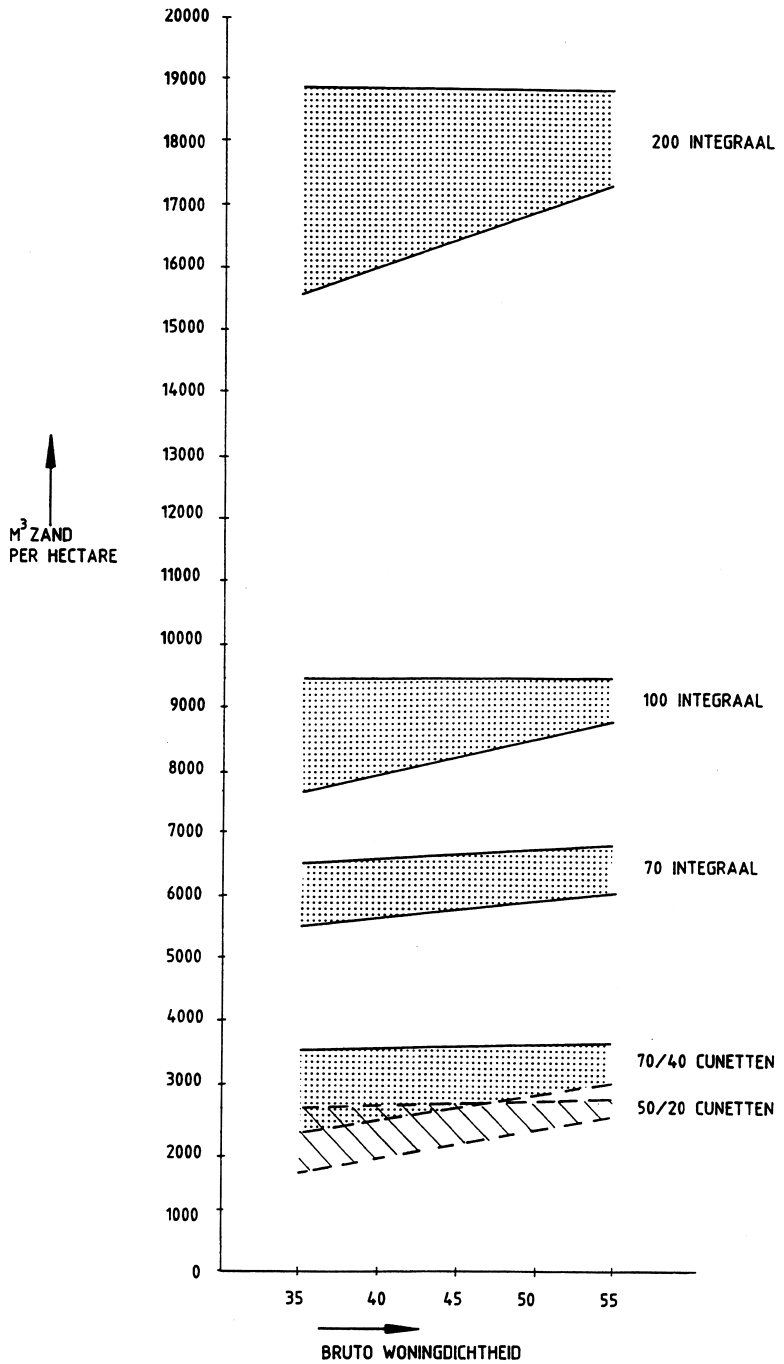


Fig. 4.21. Zandbehoefte bij verschillende methoden van bouwrijp maken [4-12]

onderzoek. Er moet vrij veel zand op winbare diepte aanwezig zijn wil het interessant zijn om met de winning te beginnen.
De produktie van profielzuigers wordt voornamelijk bepaald door de toeloop van het materiaal naar de zuigmond. Naarmate het materiaal fijner wordt en meer verontreinigd is met zeer fijne delen, zal de toeloop naar de zuigmond afnemen. Dit verlaagt de produktie en werkt kostenverhogend.
De eisen die aan het ophoogmateriaal gesteld worden, bepalen de bruikbaarheid van de zandbron. Slib kan met speciale technieken van het zand worden gescheiden [4-25]. Of de kosten van scheiden kunnen worden geaccepteerd wordt bepaald door de totale kosten van het ophogen. Voor normale ophogingen zal veelal alleen ontslibbing op

basis van bezinking in bezinkbakken mogelijk zijn. Dit kan bijvoorbeeld worden gedaan tijdens bakkentransport.
In het algemeen zullen zandputten een recreatieve bestemming krijgen. Dit stelt eisen aan de winning en aan de afwerking, hetgeen in het algemeen een beperking inhoudt van de winbare hoeveelheid. Met het oog op de waterkwaliteit moet een zandwinput een enigszins langgerekte vorm krijgen en op de heersende windrichting worden gesitueerd. Hierdoor zal het gehele jaar door een zekere menging van het water plaatsvinden, zodat de kans op een zeer slechte waterkwaliteit geringer wordt. Ook wordt aan flauwe taluds de voorkeur gegeven in verband met fauna en recreatief gebruik, bijvoorbeeld 1 : 10 langs de randen. De diepte van het te winnen zand onder het maaiveld is belangrijk in verband met de hoeveelheid bovengrond die moet worden verwerkt.
Deze hoeveelheid moet niet te groot zijn, tenzij deze bovengrond ook nuttig wordt gebruikt. De diepte tot waar het zand mag worden gewonnen moet worden onderzocht onder andere in verband met het mogelijk opdringen van zout grondwater of het naar boven trekken van de zoutgrens. Dit kan er toe leiden dat na de zandwinning een bodemafsluiting moet worden aangebracht of dat het polderpeil moet worden verhoogd [4-26].
De afstand van de winplaats tot het werkobject is tegenwoordig van minder belang dan vroeger. Met behulp van moderne transportmiddelen is men in staat het zand economisch over grote afstanden te vervoeren. De afstand beïnvloedt sterk de keuze van de transportwijze. Deze is daarentegen afhankelijk van de hoeveelheid te verwerken zand en de wijze van winnen. Andreae [4-27] geeft een kostprijsvergelijking voor enkele transportsystemen als functie van de afstand. Bijkomende werkzaamheden kunnen zijn het aanleggen van een depot waarin de bovengrond tijdelijk wordt opgeslagen. Na de zandwinning wordt de zandput er gedeeltelijk mee gedempt. Daarnaast kan ook de ontsluiting van het gebied de nodige kosten met zich mee brengen. Aangezien scheepvaart voor grote produktie met lange transportafstanden het meest economisch transport is, moet vervoer per schip mogelijk zijn. Bij winning uit een put dicht bij het stort wordt het zand als zand-watermengsel door buizen geperst.

Ophoogzand komt in vrijwel geheel Nederland in de ondergrond voor en ook in het Nederlandse deel van het continentale plat. Doordat ophoogzand in geheel Nederland in winbare hoeveelheden wordt aangetroffen en doordat hierdoor het vervoer in sterke mate de prijs bepaalt, wordt de hele problematiek van afstemming van vraag en aanbod op elkaar, een regionale afweging.
De volgende opmerkingen zijn te maken ten aanzien van de wingebieden:
- *Duinen* en gebieden als het Gooi, de Utrechtse Heuvelrug, de Veluwe en andere gebieden in het zuiden en oosten van ons land zullen niet of nauwelijks meer in aanmerking komen als zandwingebieden in verband met de waarde als landschap of als natuurterrein.
- *Rivieren*
  Ook de zandwinning uit de rivieren zal zeer sterk aan banden worden gelegd. Het rivierbeheer en milieubeheer laten een uitgebreide winning niet toe.
- *IJsselmeer*, randmeren en deltagebied
  Nog slechts beperkte mogelijkheden van zandwinning zijn in deze gebieden aanwezig. Een groot deel van het nog te winnen zand zal in het gebied zelf nodig zijn ten behoeve van recreatiestranden en -eilandjes en voor woongebieden in de directe omgeving.
- *Noordzee*
  Door de steeds zwaarder wegende milieuaspecten op het land zal in de enorme zandbehoefte voor een deel moeten worden voorzien door aanvoer vanuit de Noordzee. Steeds meer provincies stellen in de ophoogzandnota's dat zandwinning

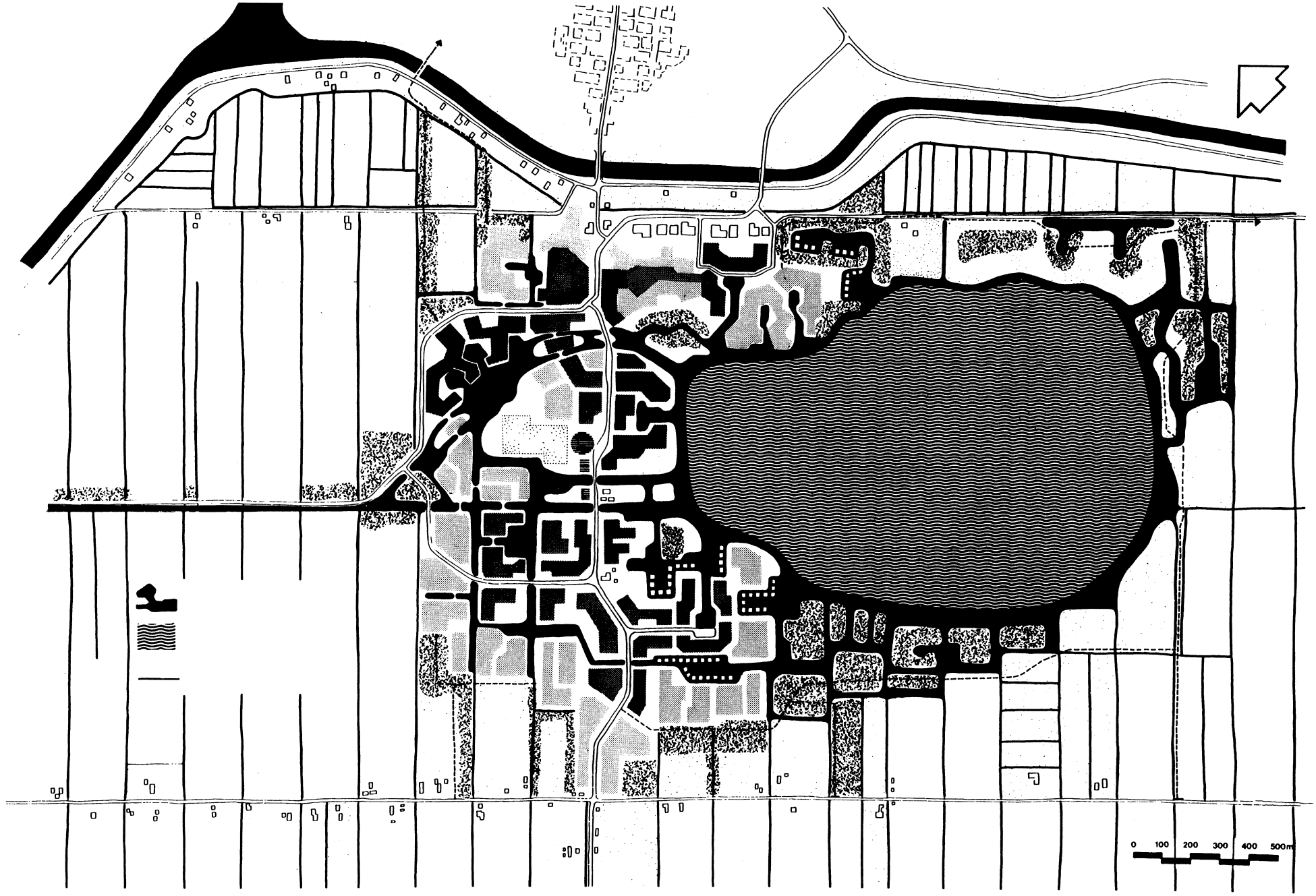


Fig. 4.22. Een nieuwe woonwijk met een recreatieplas [4-37]

in de Noordzee zal moeten plaatsvinden. Ervaring met Noordzeewinning is opgedaan in het zeezandproject in IJmuiden [4-28].
Financieel gezien kan de winning alleen plaatsvinden als de winning op zee, de ontzilting, verwerking in de nabijheid van havens en het transport naar de verbruiksplaats kan geschieden tegen prijzen die niet veel hoger zijn dan die van 'binnendijks' zand. Dit is zo rond het Noordzeekanaal/Amsterdam-Rijnkanaal en de Nieuwe Waterweg. Milieu-aspecten spelen ook mee bij de beoordeling van zand- en grindwinning in zee.

- *Binnendijkse winning uit zandputten*
  Als mogelijke zandbron is er het graven van putten binnendijks. De zandput kan meestal in de nabijheid van het stort worden gesitueerd, zoals bijvoorbeeld in Amsterdam de Sloterplas en in Zoetermeer de Noord Aa. Ten opzichte van uit zee gewonnen materiaal zijn de transportkosten laag.
  Bij binnendijkse winning bestaan echter ook diverse problemen. Ten eerste is het bij het in het westen van ons land aanwezige profiel (fig. 2.8) nodig dat veel bovengrond moet worden verzet. De kosten hiervan komen ten laste van het zand. Om het 'bovengrondprobleem' op te lossen is het zogenaamde puttensysteem te gebruiken [4-29]. De eerste hoeveelheden zand worden gewonnen uit één of meer kleine putten. Dit om de hoeveelheid te verzetten bovengrond te beperken die op het maaiveld verwerkt moet worden en om het benodigde oppervlak tijdens de eerste fase niet te groot te doen zijn. De volgende put kan groter zijn. Deze wordt ondermeer afgestemd op de zandbehoefte en op de mogelijkheid tot het dempen met onbruikbare bovengrond van de voorgaande kleine put. Dit kan enige malen worden herhaald. (fig. 4.22). Al eerder is er op gewezen dat bij het winnen van zand niet alleen de produktie van belang is. Ook belangen als recreatie, landbouw, milieu en landschap moeten erbij worden afgewogen.
- *Binnendijkse winning binnen het plangebied*
  Bij stadsuitbreidingen in de zandgebieden is het mogelijk dat plaatselijk, dicht onder het oppervlak, goed cunetzand aanwezig is. Onderzocht moet worden of de situering van singels en de aanwezigheid van goed cunetzand op elkaar kan worden afgestemd. Dit kan aanzienlijke besparingen met zich meebrengen.

De winning van ophoogzand is niet zonder meer te vertalen in oppervlaktebeslag. Kars [4-20] geeft voor de totale benodigde oppervlakte 6 à 8 km^2 per jaar voor alle delfstoffen. Voor verschillende uitgangspunten zijn in tabel 4.10 de diverse mogelijkheden van het winnen van ophoogzand uitgewerkt.

Tabel 4.10. Opbrengst per zandput (10^6 m^3) Talud 1:4 [4-20]

Bovenoppervlakte zandput (ha)	Ontgravingsdiepte (m)			
	10	15	20	25
100	9,2	13,3	16,8	20,3
50	4,4	6,3	7,9	9,3
20	1,7	2,2	2,7	3,1
10	0,8	1,0	1,16	1,25
5	0,34	0,36	0,46	0,48

4.7.3 Zandwinning en ophoging
Voor kleine projecten zal zandwinning door middel van afgraven worden toegepast. Bij grote projecten wordt het zand door zandzuigen gewonnen.
Voor kleine hoeveelheden zand wordt veel gebruik gemaakt van transport per auto. Het zand wordt gehaald bij een afgraving of een vultrechter of een zanddepot. Het zand

voor de vultrechters wordt veelal per schip aangevoerd. Zanddepots worden vaak volgespoten. De winning en stort kan dan in één project plaatsvinden, terwijl het zand gefaseerd wordt weggebracht. De meest gebruikte methode van zandtransport is tegenwoordig het gebruik van persleidingen. Men is daarbij in staat om zonder opjaagstations afstanden te overbruggen van 6–8 km.

Wijze van ophogen

Bij de cunettenmethode wordt het zand veelal per vrachtwagen aangebracht. Zand wordt gestort op die plaatsen waar het nodig is. Integraal ophogen per vrachtauto wordt veelal alleen uitgevoerd bij kleine projecten, hoewel grote ophogingen per vrachtauto ook voorkomen. Bij grotere integraal op te hogen terreinen wordt het zand meestal gespoten [4-31]. Het zand wordt gespoten tussen van te voren opgeworpen perskaden. Bij het opspuiten bezinken de zwaardere zanddelen direct, terwijl de slibdeeltjes met het water meestromen. Verder verwijderd van de zuigkop ontstaat een grote toename van het dwarsprofiel voor het wegstromende water. Hierdoor neemt de stroomsnelheid af, waardoor de fijnere delen tot bezinking komen. Het stromende water kan ook vertraagd worden door de aanwezigheid van begroeiing op het oorspronkelijke maaiveld. De sliblagen kunnen over grote delen van het oude maaiveld tot afzetting komen en een waterondoorlatende laag vormen. Bij opspuiten van terreinen worden sliblagen van 0,30 tot 0,40 m waargenomen [4-3, 4-4].

Maatregelen tegen slibafzetting zijn:

1. Het gebruik van zand waarin geen of weinig slib voorkomt. Dit hangt af van de samenstelling van het te winnen zand en de wintechnieken.
2. Het verbeteren van de korrelverdeling bij het transport en het opspuiten:
   - Verbeteren door wastechnieken [4-27].
   - Gebruik van kleinere opspuitvakken. De snelheid van het water tussen de spuitmond en wateruitlaat zal hoger blijven, waardoor minder slib tot afzetting komt.
   - Gebruik van slibvangen. Aan de randen van de stort wordt een gedeelte gereserveerd waar het slib naar toe wordt gedreven. Bij de inrichting kan rekening gehouden worden met de bestemming van dit terrein.
   - Het verwijderen van begroeiing van het oorspronkelijke maaiveld.

4.8 De cunettenmethode of integraal ophogen van bouwterreinen

4.8.1 Inleiding

Bij het vaststellen van de methode van bouwrijp maken is één van de belangrijkste beslissingen de afweging of het bouwterrein integraal wordt opgehoogd dan wel dat de cunettenmethode wordt toegepast. *Technisch* is de keuze van belang omdat hiermee voor een belangrijk deel de overige maatregelen zijn bepaald en de kwaliteit van het bouwterrein wordt bepaald. *Financieel* is de keuze van belang omdat de grondwerkzaamheden een aanzienlijk deel van de totale kosten van het bouwrijp maken bepalen. *Ontwerptechnisch en milieutechnisch* is deze keuze van belang omdat de mogelijkheid om bestaande landschappelijke elementen, de landschappelijke structuur en bestaand groen in het stedelijk ontwerp op te nemen, in sterke mate bepaald wordt door het al of niet integraal ophogen.

De volgende aspecten worden in principe in de afweging betrokken:

- *Planontwikkeling.* Procedure (in de tijd), organisatie, vormgeving, inpassing in de bestaande omgeving, planomvang, enz.
- *Zand- en bovengrondgebruik.* Hoeveelheden, winplaats (transportafstand, planologische mogelijkheden), transportmiddelen, transporttracé, zetting, rijping.
- *Het bouwrijp maken in relatie tot de aanwezige bodemgesteldheid en waterhuishouding.* Bodemprofiel, ontwateringsdiepte, mogelijkheid om het polderpeil te verlagen, drainagesysteem, rioleringssysteem, waterpartijen, bruggen, enz.

- *De bouw.* Bereikbaarheid van de bouwplaats (bouwstraten), onwerkbare dagen, netheid van het terrein, opslag van materiaal, bouwtempo, flexibiliteit in de planvorming, fundering, enz.
- *Woonrijp maken.* Herstel van schade, aanvulling van zand en grond, aanslaan van beplanting, tempo, netheid van het terrein bij gedeeltelijke bewoning.
- *Onderhoud.* Zettingschade aan bestrating, riolering en leidingen. Onderhoud zowel op de korte als op de lange termijn.
- *Milieu-aspecten.* Inpassen van bestaand groen in de plannen, beïnvloeding van waardevolle natuur in de omgeving.

In de praktijk wordt bij de afweging of er al of niet integraal moet worden opgehoogd slechts naar een aantal hoofdpunten gekeken. De hoofdpunten zijn het bouwrijp maken, de kosten, de organisatie zoals wettelijke procedures, planologische randvoorwaarden en milieu-aspecten. Deze onderdelen zijn nog niet te benaderen door middel van een kosten-baten-analyse. Veelal worden de kosten van alternatieven via beredenering afgewogen ten opzichte van de andere aspecten.

De afweging wordt in belangrijke mate beïnvloed door de locatiekeuze die op nationaal en regionaal niveau wordt gemaakt, zoals in par. 1.4 is aangegeven.

4.8.2 De afweging in de Nederlandse praktijk
Er wordt in Nederland vanuit gegaan dat bij zandgronden en kleigronden die tot de benodigde ontwateringsdiepte vast en gerijpt zijn, de cunettenmethode kan worden toegepast. Slappe kleigronden en veengronden worden integraal opgehoogd. Op zandgronden zal zeer plaatselijk wel integraal worden opgehoogd, in beekdalen of andere laagten, al of niet met veenvoorkomens (hoofdstuk 2). Een afweging speelt in kleigebieden en gebieden met veenlagen die niet al te dik zijn. De discussie spitst zich dan in het algemeen toe op de kosten, de te verwachten kwaliteitsvoordelen van het bouwterrein na integrale ophoging en het onderhoud in de toekomst. Aan de hand van een paar afwegingsstudies wordt dit verder toegelicht.

Ophoging van Rotterdam-Zevenkamp [4-32]
In Rotterdam werden tot ongeveer 1965 nieuwe wijken in het algemeen bouwrijp gemaakt volgens een sedert jaren toegepast systeem. De methode bestond daaruit dat in het terrein, soms weinig boven de polderwaterstand gelegen weiland, zandbanen werden aangebracht waarop bouwstraten en later definitieve straten werden aangelegd op een zodanige hoogte dat de straten uiteindelijk ongeveer 1,00 m boven het polderpeil kwamen te liggen. Hiermee werden de bouwterreinen toegankelijk gemaakt, die echter zelf niet werden opgehoogd. Deze traditionele methode werd negatief beoordeeld in verband met het incidentele karakter, het ongecoördineerde werken en het slechte bouwterrein, hetgeen ongerief en hoge kosten met zich meebrengt. Ook vinden de zettingen vrijwel geheel tijdens en na de bouw plaats, hetgeen veel overlast ten gevolge van noodzakelijk herstraten, ophalen van buizen en kabels en reparaties van gebroken huisaansluitingen veroorzaakt met hoge herstelkosten. Dit kan voorkomen worden door het gehele terrein in een vroeg stadium integraal op te hogen. Aan het bezwaar van de sterke zakking van straten kan tegemoet gekomen worden door het versnellen van het zettingsproces door verticale (zand-)drainage. Om nu een gefundeerde keuze te kunnen maken, zijn 5 methoden op kosten onderzocht:
1. traditionele methode – zandbanen (cunetten);
2. zandbanen met zanddrains in de zandbanen;
3. ophogen van de gehele wijk per as; zanddrains in het gehele terrein;
4. ophogen van de gehele wijk;
5. ophogen van de gehele wijk, met zanddrains in het gehele terrein.

De afwijking in de kostenvergelijking ten opzichte van veel andere afwegingsstudies zit hierin, dat onderhoudskosten zijn meegenomen. Voor de vijf ophogingsmethoden zijn zakkingslijnen opgesteld. De bruto-ophoging bedraagt 2,00 m, waarvan netto 0,50 m overblijft. Ten gevolge van tijdsverschillen in relatie tot de verwezenlijking van de plannen treden er verschillen in zetting op nadat de woningen zijn opgeleverd (fig. 4.23).

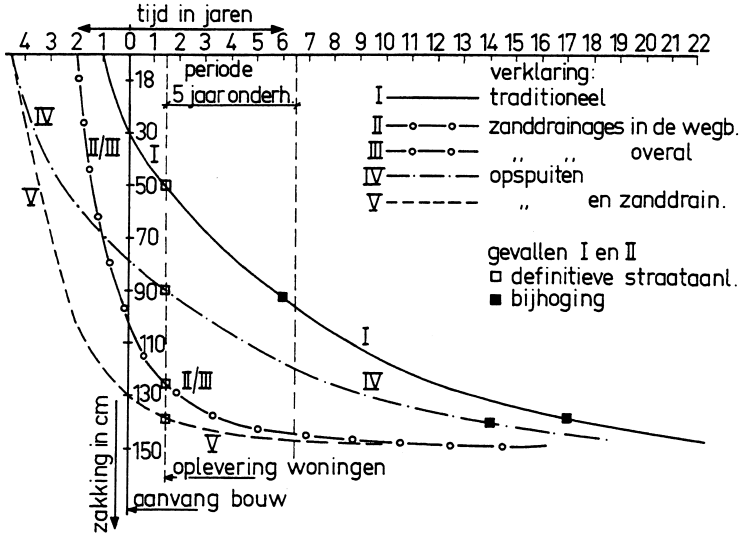


Fig. 4.23. Tijd – zakkingsdiagrammen van verschillende methoden van ophogen [4-5]

Tabel 4.11. Zettingen en ophogingen bij verschillende methoden van ophogen in Zevenkamp [4-32]

Methode	Zetting t/m oplevering (m)	Nazetting (m)	Zand in eerste ophoging (m)	Zand in bijhoging (m)	Grond in eerste ophoging (m)	Grond in bijhoging (m)	Verticale drainage (% totale oppervlak)
1	0,50	1,00	1,00	1,00	0,50	1,00	–
2	1,25	0,25	0,75	0,25	0,50	1,00	25
3	1,25	0,25	1,75	0,25	0,30	0,25	100
4	0,90	0,60	1,40	0,60	0,30	0,50	–
5	1,40	0,10	1,90	0,10	0,30	0,10	100

Tabel 4.12. Overzicht van de kosten van de verschillende methoden van bouwrijp maken (alles uitgedrukt in % van totale kosten van methode-1; alles inclusief rente volgens tijdschema fig. 4.23) [4-32]

Kosten-posten	Methode				
	1	2	3	4	5
verwerving	24	27	28	34	34
zand eerste ophoging	11	20	73	37	48
zand bijhogingen	6	1	1	2	0,3
zanddrainages	–	3	13	–	14
grond in de tuinen	22	22	7	11	6
grond bijhogingen	10	10	–	4	–
ophalen bestrating, riolering, enz.	23	–	–	10	–
extra kosten diversen	4	4	–	–	–
totaal	100	87	122	98	102

Hieruit is af te leiden wanneer en hoeveel latere bijhogingen met zand, met daarbij het ophalen van straten, rioleringen en kabels en leidingen nodig is (tabel 4.11). De uiteindelijke kostenvergelijking staat weergegeven in tabel 4.12. De vijf oplossingen zijn wat betreft kwaliteit niet gelijk en dus moeilijk vergelijkbaar. Gezien de hogere kwaliteit van een opgehoogd bouwterrein wordt in het rapport de voorkeur uitgesproken voor integraal ophogen [4-32]. De in de studie meegenomen onderhoudskosten worden niet in de grondexploitatie geaccepteerd door het Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieuhygiëne. Als de afweging intern bij de gemeente gebeurt en een grondexploitatie met alleen de gekozen methode wordt gepresenteerd, dan is er geen probleem.

Bouwrijp maken in de Flevopolders [4-5]
In de Flevopolders worden als eerste stap in het proces van bouwrijp maken de terreinen opgehoogd met 1,00 m zand, waarna een drainagesysteem wordt aangebracht. Onder andere in verband met de te verwachten stijging van de zandprijzen is de methode geëvalueerd op kosten en getracht de besparingen en voordelen tijdens en na de bouwfase als gevolg van deze methode te bepalen. Bij deze evaluatie zijn vergeleken:
1. Integraal ophogen – 1,00 m zand
2. Integraal ophogen – 0,70 m zand
3. Cunettenmethode – 0,70 m zand in cunetten

De afwijking in de kostenvergelijking ten opzichte van andere afwegingsstudies zit hierin dat getracht is besparingen en voordelen buiten de directe kosten van het bouwrijp maken te bepalen. De kwantificeerbare kosten van de verschillende methoden staan in tabel 4.13.

Tabel 4.13. Kwantificeerbare kosten (gld/ha) in relatie tot de methode van bouwrijp maken (alle bedragen teruggerekend naar de start van het bouwrijp maken, z.g. contante waarde), bij 33 woningen per hectare [4-5]

Onderdeel	Integraal ophogen		Cunettenmethode
	1,00 m	0,70 m	0,70 m
Zandlevering	*f* 66.100,–	*f* 55.800,–	*f* 22.700,–
Grondwerk	*f* 17.000,–	*f* 20.400,–	*f* 15.800,–
Drainage	*f* 14.300,–	*f* 21.200,–	*f* 6.000,–
Verstuiving	*f* 900,–	*f* 900,–	–
Opbrengstderving	*f* 4.300,–	*f* 4.300,–	*f* 900,–
Onderhoudskosten	*f* 9.900,–	*f* 7.400,–	*f* 9.900,–
Totaal	*f* 112.500,–	*f* 110.000,–	*f* 55.300,–

Naast de kwantificeerbare kosten bij het bouwrijp maken spelen ook niet-kwantificeerbare kosten een rol. Aan de volgende kosten die door de methode van bouwrijp maken worden beïnvloed kan worden gedacht:
- *Bouwkosten woningen.* De kwaliteit van het bouwterrein heeft ongetwijfeld invloed op de werkprestatie tijdens de bouw. Vergelijking van woningbouwprojecten leert dat de kwaliteit van het bouwterrein niet waarneembaar tot uitdrukking komt in de bouwprijs. De invloed van een slecht bouwterrein op de kwaliteit van de woningen is moeilijk te schatten. Dit zal tot uitdrukking komen in extra onderhoudskosten. Discontinuïteit in de bouw is ook moeilijk in kosten uit te drukken.
  Om nu een indruk te geven tot hoe hoog de beïnvloeding van de bouwkosten kan oplopen, wordt een tweetal percentages aangenomen, namelijk 0,25 en 0,50% van de bouwkosten. De stichtingskosten van een woning worden aangenomen op *f* 100.000,–.

- *Extra kosten voor de aanleg van rioleringen en leidingen.* Een niet-opgehoogd bouwterrein kan leiden tot een verhoging van de kosten voor de aanleg van rioleringen en leidingen. Ook ten aanzien van deze systemen is gekozen voor een tweetal percentages waarmee deze niet-kwantificeerbare kosten kunnen oplopen, namelijk 5 en 10%. Het betreft de kosten:
  - Rioleringen f 66.000,– per ha
  - Gas f 40.000,– per ha
  - Water f 28.000,– per ha
  - Stadsverwarming f 120.000,– per ha

  Voor elektriciteit en telefoonleidingen en stadsverwarming worden de kostenverhogingen door terreinomstandigheden als PM-post opgevoerd.
- Bij de cunettenmethode zullen *extra ontwateringsmaatregelen* moeten worden genomen.

In tabel 4.14 is de orde van grootte van deze niet-kwantificeerbare kosten weergegeven.

Tabel 4.14. Mogelijke orde van grootte van de niet-kwantificeerbare extra kosten, indien het bouwterrein uitsluitend wordt ontsloten (cunettenmethode, 33 won./ha) (in gld/ha) [4-5]

Onderdeel	Kwantificeerbare kosten	een verhoging met			
		minst slechte omstandigheden		slechtere omstandigheden	
		percentage	bedrag	percentage	bedrag
Bouwkosten	f 3.300.000,–	0,25	f 8.300,–	0,5	f 16.000,–
Rioleringen	f 66.000,–	5	f 3.300,–	10	f 6.600,–
Gas en water	f 68.000,–	5	f 3.400,–	10	f 6.800,–
Ontwatering	–	–	f 15.000,–	–	f 15.000,–
Stadsverwarming	f 120.000,–	–	P.M.	–	P.M.
Totaal orde van grootte		–	f 30.000,–	–	f 45.000,–

4.8.3 De afweging op basis van kosten

De afweging integraal ophogen/cunettenmethode is veelvuldig uitgevoerd en neergelegd in een aantal studies [4-5, 4-16, 4-32, 4-33]. De uitkomsten van de studies zijn verschillend. De verschillen zijn onderzocht en tevens is een meer algemene afweging op basis van kosten gemaakt [4-12, 4-34].

De resultaten van de studie zijn weergegeven in fig. 4.24 en 4.25. Het betreft hier een vergelijking van alle kosten van het zand- en grondverzet, dus ook de grondverbetering voor groen. In fig. 4.24 zijn de kosten van het zand- en grondverzet bij verschillende woningdichtheden weergegeven voor twee varianten van de cunettenmethode. Bij de ene variant wordt 0,70 m zand aangebracht onder de rijverharding en 0,40 m zand onder de voetgangersverharding. Bij de andere variant wordt respectievelijk 0,50 m en 0,20 m zand aangebracht. In beide gevallen is de maaiveldverhoging zonder zetting 0,30 m. Per variant bouwrijp maken staan twee lijnen aangegeven: de bovenste lijn geeft de kosten voor de duurste vorm van grondgebruik, de onderste lijn geeft de goedkoopste vorm van grondgebruik. Het verschil tussen de twee lijnen geeft in feite de invloed van het stedebouwkundig ontwerp op de kosten van grond- en zandverzet. Voor beide varianten van bouwrijp maken geldt dat de dure vormen van grondgebruik gekenmerkt worden door:

- veel verharding, waarvan relatief veel buurtontsluiting en weinig voetgangersverharding;
- weinig groen, waarvan relatief veel blokgroen;
- veel open water.

De goedkopere vormen van grondgebruik hebben:
- weinig verharding, waarvan relatief veel woningontsluiting en veel voetgangersverharding;
- veel groen, waarvan relatief weinig blokgroen;
- weinig open water.

De volgende conclusies zijn uit fig. 4.24 te trekken. Naarmate de woningdichtheid toeneemt, nemen de kosten per woning af. Voor de duurste vormen van grondgebruik geldt dat de kosten per woning bij 55 woningen per hectare ongeveer 63% bedragen van de kosten bij 35 woningen per hectare. Voor de goedkoopste vorm van grondgebruik zijn de kosten per woning bij 55 woningen per hectare ongeveer 77% van de kosten bij 35 woningen per hectare.

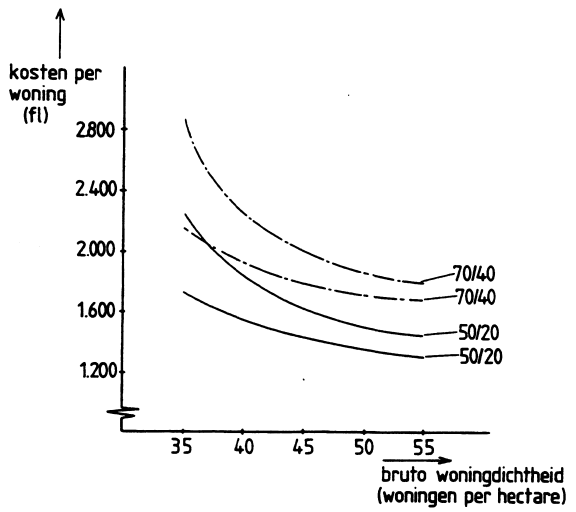


Fig. 4.24. De kosten van grond- en zandverzet per woning bij toepassing van de cunettenmethode.
50/20 = dikte zandbed van wegen = 0,50 m en paden = 0,20 m.
Maaiveldverhoging zonder zetting is 0,30 m.

Naarmate de woningdichtheid toeneemt, wordt het kostenverschil tussen de duurste en goedkoopste vorm van grondgebruik kleiner. Bij 35 woningen per hectare zijn de kosten van het goedkoopste grondgebruik ongeveer 75% van het duurste grondgebruik; bij 55 woningen per hectare is dat ongeveer 90%. Uit dit gegeven blijkt dat vooral bij bruto dichtheden van 35 à 40 woningen per hectare – dat zijn netto dichtheden van 45 à 50 woningen per hectare – de invloed van het grondgebruik op de kosten aanzienlijk is.

De kostenverschillen tussen de beide varianten van bouwrijp maken worden uiteraard bepaald door verschillen in kosten voor grond- en zandverzet ten behoeve van de aanleg van de verharding. Zowel bij de dure als bij de goedkope vormen van grondgebruik bedraagt het kostenverschil tussen de varianten van bouwrijp maken ongeveer 25%. De kostenverschillen tussen de twee varianten met hetzelfde zandbed 0,70 m/0,40 m, maar met een verschillende verhoging van het maaiveld, bedragen ongeveer 7%.

In fig. 4.25 zijn de kosten van grond- en zandverzet bij verschillende woningdichtheden weergegeven voor één variant van de cunettenmethode en twee varianten van integraal ophogen.
Bij de cunettenmethode wordt 0,70 m zand aangebracht onder de rijverharding en 0,40 m zand onder de voetgangersverharding; het maaiveld gaat, zonder rekening te houden met zetting, 0,50 m omhoog.

Bij het integraal ophogen met zand wordt respectievelijk 0,70 m en 1,00 m zand opgebracht.
Voor de beide toepassingen van integraal ophogen geldt dat de dure vormen van grondgebruik gekenmerkt worden door:
- veel verharding;
- veel open water, waarvan een deel binnen het opgehoogde terrein ligt;
- weinig groen, waarvan relatief veel blokgroen.

De goedkope vormen van grondgebruik hebben:
- weinig verharding;
- weinig open water, dat geheel buiten de ophoging ligt;
- veel groen, waarvan relatief veel buurtgroen.

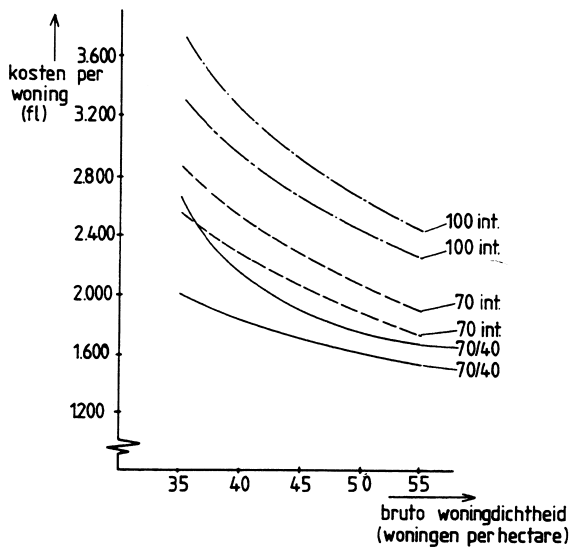


Fig. 4.25. De kosten van grond- en zandverzet per woning bij integraal ophogen en de cunettenmethode.
70 int = integraal ophogen met 0,70 m zand.
70/40 = dikte zandbed van wegen = 0,70 m en paden = 0,40 m.
Bij de cunettenmethode is de maaiveldverhoging zonder zetting 0,50 m.

De volgende conclusies zijn uit fig. 4.25 te trekken:
Naarmate de woningdichtheid toeneemt, nemen de kosten van het integraal ophogen af. Voor de duurste vormen van grondgebruik geldt dat de kosten per woning bij 55 woningen per hectare ongeveer 65% bedragen van de kosten bij 35 woningen per hectare.
Voor de goedkoopste vorm van grondgebruik zijn de kosten bij 55 woningen per hectare ongeveer 68% van de kosten bij 35 woningen per hectare. Het kostenverschil tussen de duurste en goedkoopste vorm van grondgebruik is bij beide varianten van integraal ophogen bij de verschillende dichtheden vrijwel constant 10%. De invloed van het stedelijk grondgebruik op de kosten van integraal ophogen is dus niet onaanzienlijk.
De kostenverschillen tussen integraal ophogen met 0,70 m en 1,00 m zand bedragen zowel bij de duurste als de goedkoopste vormen van grondgebruik en voor alle dichtheden ongeveer 29%. De kostenverschillen worden veroorzaakt door verschillen in hoeveelheden op te spuiten zand. De kostenverschillen tussen 0,70 m integraal ophogen en de cunettenmethode 70/40 bedragen bij 35 en 55 woningen per hectare ongeveer 20%.
De kosten van het zand- en grondverzet door integraal ophogen zijn hoger dan bij toepassing van de cunettenmethode. De kostenverschillen nemen echter sterk af bij hogere dichtheden.

Naast de in het voorgaande besproken directe kosten van het bouwrijp maken spelen ook niet-direct kwantificeerbare kosten een rol.
Daarbij kan gedacht worden aan:

- *Bouwkosten woningen.*
  De kwaliteit van het bouwterrein heeft invloed op de werkprestaties tijdens de bouw. Er kan van uitgegaan worden dat een integraal met zand opgehoogd terrein in het voordeel is boven een terrein dat met de cunettenmethode bouwrijp is gemaakt. Vergelijking van woningbouwprojecten geeft aan dat dit niet waarneembaar tot uiting komt in de bouwprijs. Om een indruk van deze kostenpost te verkrijgen is door de Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders gewerkt met een benadering met percentages (zie par. 4.8.2 [4-5]). Dit betekent een bedrag van *f* 250,– à *f* 500,– per woning. Volgens Ritmeester is dit bedrag nog aanzienlijk groter, hij noemt *f* 1200,– à *f* 1300,– per woning [4-35]. De Geer geeft cijfers ten aanzien van de invloed van de grondgesteldheid op het transport op de bouwplaats en op de werkplaats. Bij drie nagecalculeerde projecten lopen de kosten tot *f* 476,– per woning uiteen [4-36].
- *Kabels en leidingen.*
  Een niet-opgehoogd terrein kan ook leiden tot een verhoging van de kosten van de aanleg van riolering en kabels en leidingen. Zoals in par. 4.8.2 aangegeven is ook dit te benaderen via percentages. Dit betekent een bedrag van *f* 100,– à *f* 200,– per woning.
- *Ontwatering.*
  Wil men eenzelfde kwaliteit van ontwatering van het bouwterrein en woongebied dan zullen de kosten van de benodigde ontwateringsmiddelen bij de cunettenmethode hoger zijn dan bij integrale ophoging met zand. In een aantal studies wordt aangenomen dat de kosten van het ontwateringssysteem bij de cunettenmethode en integraal ophogen met 0,70 m zand gelijk zijn [4-34]. Bij integraal ophogen met 1,00 m zand is de ontwatering ongeveer *f* 200,– à *f* 300,– per woning goedkoper dan bij de cunettenmethode.

4.8.4 De afweging op basis van overige aspecten

Ook andere aspecten kunnen een belangrijke rol spelen bij de beoordeling van de verschillende methoden van bouwrijp maken. De voor- en nadelen van toepassing van de cunettenmethode of het integraal ophogen worden in tabel 4.15 opgesomd en ten opzichte van elkaar vergeleken. Het zal duidelijk zijn dat dit geen opsomming kan zijn die tot een eenduidige oplossing leidt.

Tabel 4.15. Vergelijking integraal ophogen – cunettenmethode ten opzichte van elkaar (+ = gunstig, – = ongunstig)

	Integraal ophogen	Cunettenmethode
1. Planvorming	+	–
2. Zandgebruik	–	+
3. Zettingen	–	–
4. Bouwrijp maken, grondwerk	+	–
5. Bouwrijp maken, overig werk	+	–
6. Woningbouw	+	–
7. Woningrijp maken	+	–
8. Renteverliezen	–	+
9. Sparen van bestaand groen	–	+/–

1. Het tijdstip waarop het stedebouwkundig plan gereed dient te zijn kan bij integrale ophoging later vallen dan bij de cunettenmethode omdat voor de cunettenmethode het preciese stratenplan bekend moet zijn. Dit betekent dat wijzigingen in het

stedebouwkundig plan bij integraal ophogen minder problemen veroorzaken. De planvorming is flexibeler.

2. Het zandgebruik is bij het integraal ophogen aanzienlijk groter dan bij de cunettenmethode. Globaal gesproken wordt bij integraal ophogen met 1,00 m zand driemaal en met 0,70 m tweemaal zoveel zand gebruikt dan bij de cunettenmethode [4-34]. Dit kan problemen opleveren in verband van het ontgrondingenbeleid.
3. De zettingen zijn bij integraal ophogen groter dan bij de cunettenmethode. Dit zal problemen opleveren indien een groot deel van de zetting nog niet heeft plaats gevonden vóór het woonrijp maken en de oplevering van de woningen. De zettingen bij de cunettenmethode zijn ongelijkmatiger door de ongelijke belasting. Welke methode de grootste problemen oplevert is niet zonder meer vast te stellen. Het is onder meer afhankelijk van de toepassing van maatregelen om de zetting te versnellen (par. 4.5).
4. Het grond- en zandverzet ten behoeve van het bouwrijp maken is na de integrale ophoging met zand eenvoudiger uit te voeren dan bij de cunettenmethode door de betere begaanbaarheid van het bouwterrein. Het werktempo zal hoger liggen. De complexiteit van de organisatie is geringer.
5. Ook de overige werkzaamheden van het bouwrijp maken zijn eenvoudiger en sneller uit te voeren ten gevolge van het schone en goed begaanbare bouwterrein.
6. De voortgang van de bouw zal beter gewaarborgd zijn bij integraal ophogen door de begaanbaarheid en netheid van het terrein en de betere mogelijkheid van droge, schone opslag van materialen. Dit komt de kwaliteit van de bouw ten goede.
7. Voor het woonrijp maken geldt hetzelfde voordeel voor integraal ophogen als genoemd bij het bouwrijp maken en de voortgang van de bouw. Aangenomen kan worden dat door een goede grondverbetering de mogelijkheden voor het groen bij beide methoden even goed zijn.
8. Gezien de noodzaak het integraal ophogen vroegtijdig te doen plaatsvinden zal er sprake zijn van een groter renteverlies dan bij de cunettenmethode. Gezien besparingen op onderhoud behoeft dit niet zondermeer kostenverhogend te zijn (par. 4.5). Een goede fasering van de grootte van de opspuitingen wordt bepaald door de renteverliezen en de verschillen in de zandprijs ten gevolge van de omvang van het werk.
9. Sparen van bestaand groen is bij de cunettenmethode eenvoudiger dan bij integraal ophogen. Zoals in hoofdstuk 1 reeds is aangegeven, zijn de mogelijkheden om groen te integreren in een dichtbebouwd stedelijk woongebied beperkt. Alleen het sparen van grotere groenelementen heeft zin en deze zijn eenvoudig in de opspuiting uit te sparen (zie hoofdstuk 7).
   In verband met het feit dat tegenwoordig in vrij hoge dichtheden wordt gebouwd en het groen uit kostenoverwegingen zoveel mogelijk wordt geconcentreerd, is de methode van het *partieel ophogen* aantrekkelijk; dat wil zeggen dat het dichtbebouwde woongebied integraal wordt opgehoogd terwijl gebieden met te sparen groen, of voor nieuw aan te leggen groen, niet worden opgehoogd (fig. 4.1-C).

4.9 Samenvatting

Tijdens de bouw van stedelijke gebieden is de begaanbaarheid van een bouwterrein van groot belang. Tevens moet de draagkracht onder wegen en trottoirs voldoende zijn en moet de grondwaterstand diep genoeg zijn. Bij slappe bodems moet daarom het terrein geheel of gedeeltelijk met zand worden opgehoogd. In dit hoofdstuk zijn de eisen die aan de ophoging gesteld worden beschreven. Een drietal methoden wordt toegepast: integraal ophogen, de cunetten-methode en partieel ophogen.

Deze methoden en de wijze waarop en wanneer ze moeten worden toegepast worden omschreven. Hierbij wordt aandacht besteed aan de benodigde dikte van de zandlaag en de

hoeveelheid grondverzet. Tevens wordt aangegeven hoe rekening gehouden moet worden met optredende zettingen van de slappere ondergrond en hoe deze zettingen kunnen worden berekend.
Voor de ophoging is zand nodig. Aangegeven wordt waar dit zand gewonnen kan worden en waarmee bij de winning rekening moet worden gehouden.
Tenslotte wordt uitgebreid ingegaan op de afweging tussen het integraal ophogen van het bouwterrein of het toepassen van de cunettenmethode.

5 Ontwatering

5.1 Inleiding

De stedelijke uitbreidingen in Nederland worden over het algemeen gebouwd in gebieden, waar de grondwaterstanden te hoog zijn. Dit is vooral in het westen van Nederland het geval. Maar ook in de zandgebieden in het oosten en zuiden van Nederland komen hoge grondwaterstanden voor. Door het neerslagoverschot gedurende de winter lopen zonder verdere maatregelen de grondwaterstanden zo hoog op, dat er hinder van wordt ondervonden tijdens de bouw en na de bouw, als het gebied bewoond is. Om de grondwaterstanden te verlagen zijn een aantal maatregelen voorhanden, die in dit hoofdstuk nader worden omschreven. Allereerst wordt ingegaan op een aantal begrippen, die in de ontwatering worden gebruikt, op de grondwaterstroming, die voor de ontwatering bepalend is, en op de ontwateringsmiddelen. Van groot belang zijn de normen waaraan de ontwatering moet voldoen en de juridische aspecten, die aan het beheer van het grondwater in stedelijke gebieden verbonden zijn.
Vervolgens worden de drainagesystemen beschreven, die speciaal ontwikkeld zijn voor toepassing in stedelijke gebieden. Bij het ontwerp is de afstand tussen de drainagemiddelen van belang en de diepteligging ervan, terwijl de afmetingen van de ontwateringsmiddelen eveneens berekend moeten worden. Hierop wordt in dit hoofdstuk nader ingegaan. Tenslotte worden aspecten van de aanleg en het onderhoud van ontwateringsstelsels behandeld.

5.2. Begrippen en functies

In de ontwatering worden verschillende begrippen gebruikt. Van belang daarbij is in de eerste plaats de ontwateringsdiepte. De *ontwateringsdiepte* is de afstand tussen het maaiveld en de hoogte van het waterpeil in de afwateringsmiddelen. De ontwateringsdiepte in een stedelijk gebied zal dus meestal de afstand zijn tussen het straatpeil en het waterpeil in de grachten of singels (fig. 5.1). Onder de *drooglegging* wordt de afstand tussen maaiveld en de hoogst toelaatbare grondwaterstand verstaan. In feite is de drooglegging de afstand tussen het maaiveld en de grondwaterspiegel. Omdat voor het waterbeheersingsontwerp de hoogst toelaatbare grondwaterafstand van belang is, wordt de definitie daartoe beperkt. De hoogst toelaatbare grondwaterstand is dan uiteraard een theoretische ontwerpgrondwaterstand (fig. 5.1).
De *ontwatering* is de afvoer van het overtollige water door de grond naar de ontwateringsmiddelen, zijnde de drains of de sloten.
De *afwatering* is de afvoer van het overtollige water door de open waterlopen, zoals grachten en singels, naar het waterhuishoudkundig systeem buiten de wijk of stad.
De *functies van het drainagesysteem* in een stedelijk gebied kunnen opeenvolgend zijn:
- Het versnellen van de zetting, die optreedt als gevolg van het gewicht van opgespoten zand of opgebrachte grond;
- Het realiseren van een goed ontwaterd, goed draagkrachtig bouwterrein, waarbij de bouwwerkzaamheden geen hinder ondervinden van wateroverlast;
- Het realiseren van een goed ontwaterd woongebied. Hier is vooral van belang dat

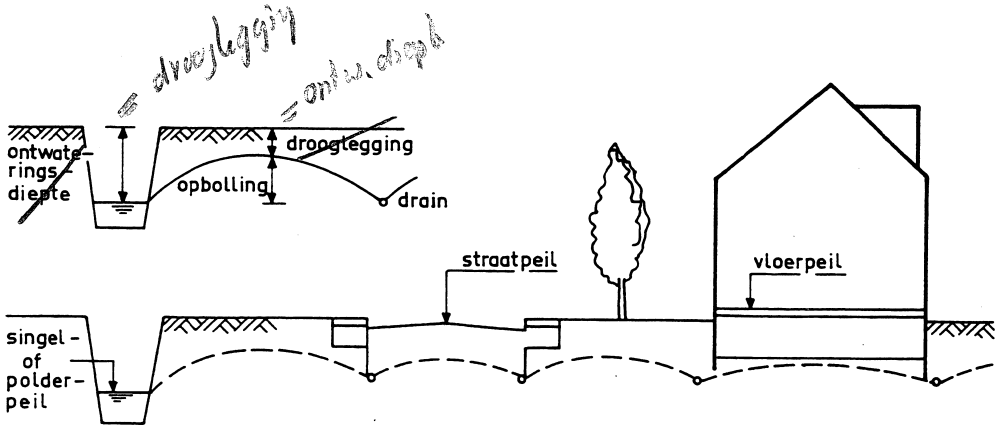


Fig. 5.1. Begrippen met betrekking tot de ontwatering

wegen, tuinen en parken goed ontwaterd zijn, dat herstel aan kabels en leidingen zonder wateroverlast kan plaatsvinden en dat kruipruimten onder de woningen voldoende droog zijn.

Grondwaterstroming

De afstand tussen ontwateringsmiddelen wordt berekend door gebruik te maken van de wetten van de grondwaterstroming in de verzadigde zone (par. 5.5). Omdat het voor het begrip van dit hoofdstuk van belang is dat al in het begin enig inzicht aanwezig is in de grondwaterstroming, wordt daarop hier summier ingegaan.

Het teveel aan water in een gebied, dat men het waterbezwaar noemt, moet worden afgevoerd. Indien het aanwezige afvoersysteem daartoe niet in staat is, wordt het water tijdelijk geborgen. De berging vindt zowel plaats in de bodem als in de open watergangen, bijvoorbeeld in sloten. 's Zomers, wanneer de evapotranspiratie hoog en het vochtgehalte in de bodem meestal laag is, is de bergingscapaciteit in de bodem groot. Meestal komt de neerslag dan – zelfs bij zware buien – niet tot afvoer, maar wordt in de grond geborgen. Daarbij stijgt het vochtgehalte. In de wintermaanden daarentegen is de evapotranspiratie te verwaarlozen. Aan het eind van oktober is het vochtgehalte in de bodem zover gestegen dat de neerslag tot afvoer komt. Op dat moment heeft het vochtgehalte de veldcapaciteit bereikt (hoofdstuk 7). Het overgrote deel van de neerslag zakt dan min of meer verticaal de bodem in tot het zich verenigt met het grondwater. Het indringen van water in de bodem wordt *infiltratie* genoemd en de hoeveelheid water die per tijdseenheid en per oppervlakte-eenheid door de bodem kan worden opgenomen is de *infiltratiecapaciteit*. De infiltratiecapaciteit wordt onder meer bepaald door de grondsoort, het reliëf en de begroeiing. Ook is de vochttoestand van het bodemoppervlak van belang. In fig. 5.2 is de infiltratiecapaciteit van braakliggende bouwterreinen bij verschillende betredingsgraden weergegeven. Hieruit blijkt dat een geringere betreding leidt tot een hogere infiltratiecapaciteit.

De neerslag die op een verhard oppervlak valt, komt voor een groot deel tot afvoer via de riolering. Diverse onderzoeken geven echter aan dat ook door sommige verharde oppervlakken een aanzienlijke infiltratie plaatsvindt [5-2, 5-3]. De onderzochte en de daarbij gevonden infiltratiecapaciteiten staan samengevat in tabel 5.1.

Tabel 5.1. Gemiddelde infiltratie van regenwater door verschillende verhardingen in mm/etm [5-2]

verharding	
sfalt	0
betonklinkers	24
straatklinkers	42
trottoirtegels	36

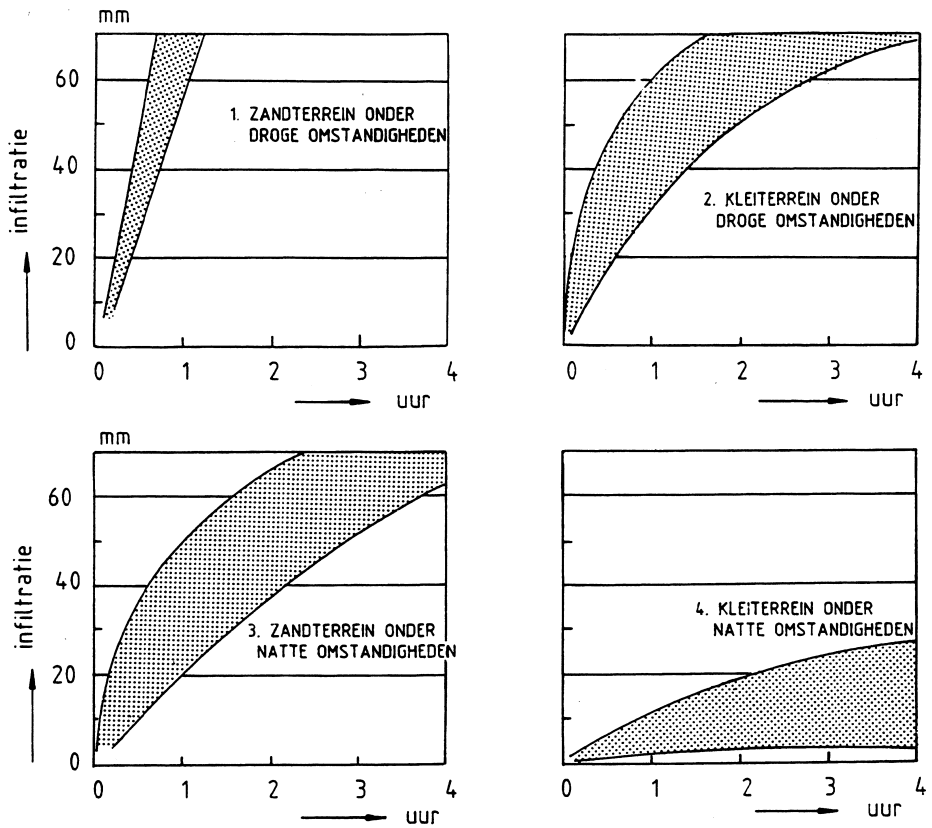


Fig. 5.2. Infiltratiecapaciteit van onbegroeide braakliggende bouwterreinen [5-1]

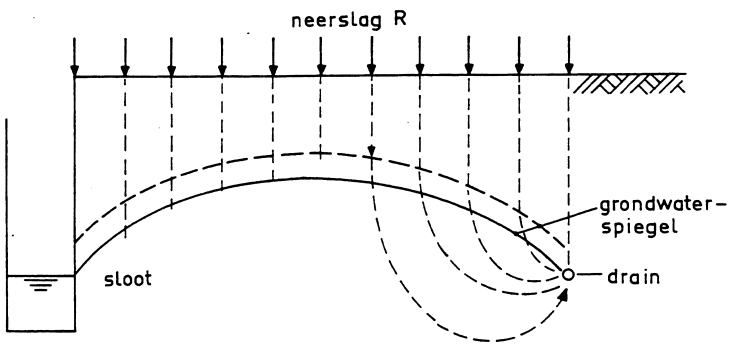


Fig. 5.3. Stroming van bodemvocht en grondwater naar een ontwateringsmiddel

De infiltratie door de verharding maakt het nodig dat ontwateringsmiddelen onder deze verharding worden aangebracht. Dit wordt nog versterkt door het feit dat zo goed als geen verdamping zal optreden van het water onder de verharding. Het onder de verharding van een weg toegepaste drainagesysteem is de cunetdrainage (par. 5.4.2). Als de neerslag de grondwaterstand bereikt vindt een stijging van de grondwaterstand plaats. De mate van stijging hangt af van het actuele vochtgehalte en de poriënverdeling. Deze twee laatste factoren bepalen de bergingscoëfficiënt van de grond. Over het algemeen is deze coëfficiënt 0,05 à 0,10. Dit betekent dat een verhoging van de grondwaterstand optreedt met 20, respectievelijk 10 maal de aangevoerde neerslag (fig. 5.3).

De stroming van water door de grond kan beschreven worden met de wet van Darcy:

$$v = -K \cdot i$$

v = stromingssnelheid in m/etm
K = doorlatendheid in m/etm
i = verhang

De grondwaterstroming is een niet-stationair proces, ten gevolge van de van dag tot dag veranderde neerslag en verdamping. Drainagevergelijkingen geven beschrijvingen van grondwaterstromingsproblemen, waarbij draindiepte en drainafstand gerelateerd worden aan de afvoer en de hoogte van de grondwaterspiegel.
De meeste in de praktijk gebruikte drainagevergelijkingen zijn stationaire vergelijkingen. Dit hangt samen met de tamelijk gecompliceerde aard van de niet-stationaire oplossingen en met het tamelijk stationaire karakter van de grondwaterstroming in het nederlandse klimaat, zeker gedurende de winter.
Een van de bekendste vergelijkingen voor de berekening van de drainafstand is de drainagevergelijking van Hooghoudt (fig. 5.4).

$$q = \frac{8K_2dh + 4K_1h^2}{L^2}$$

Hierin is:
q = de afgevoerde waterschijf (= neerslag R) in m/etm
K_1 = de doorlatendheid in het vlak beneden de drainreeksen in m/etm
K_2 = de doorlatendheid in het vlak boven de drainreeksen in m/etm
L = de drainafstand in m
h = de hoogte van de grondwaterstand (opbolling) in het midden boven de drains in m
d = de zogenaamde equivalentlaag, gerelateerd aan D, de hoogte van de drains boven de ondoorlatende laag

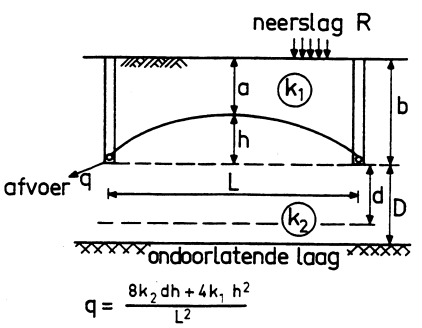


Fig. 5.4. Drainage via een systeem van evenwijdige drains en de factoren uit de drainageformule van Hooghoudt

Om met deze formule een drainafstand te kunnen berekenen zijn twee soorten gegevens nodig:
- de eigenschappen van de grond (K en D);
- het drainagecriterium, dit is de relatie tussen de ontwerpafvoer q en de toelaatbare opbolling $h = b - a$ (fig. 5.4).

Men maakt bij het drainagecriterium een onderscheid naar berekeningswijze in stationaire- en niet-stationaire formules. In de stationaire drainageformules, bijvoorbeeld die van Hooghoudt, bestaat het drainagecriterium uit een maatgevende afvoer en een maatgevende opbolling van de grondwaterspiegel boven drainniveau. De berekening van de afstand tussen de ontwateringsmiddelen is gebaseerd op een stationaire situatie waarbij de afvoer gelijk is aan de neerslag. De te gebruiken normen zijn voornamelijk empirisch vastgesteld. Dit heeft als groot bezwaar dat in andere situaties dan die waarvoor de normen zijn vastgesteld, deze normen niet zonder meer toepasbaar zijn. Daarnaast is bij toepassing van het stationaire drainagecriterium weinig te zeggen over de werkelijk voorkomende grondwaterstand omdat deze in belangrijke mate wordt bepaald door het neerslagpatroon en de berging in de grond. In de niet-stationaire formules bestaat het drainagecriterium uit een drooglegginsgeis en de frequentie waarmee deze mag worden overschreden (par. 5.5).

Ontwateringsmiddelen

Er zijn meerdere technieken om te natte gronden droger te maken. In stedelijke gebieden worden de volgende technieken toegepast:

- het aanbrengen van ontwateringsmiddelen: grondwaterstandsverlaging (dit hoofdstuk);
- het ophogen van het maaiveld (hoofdstuk 4);
- het verlagen van het ontwateringsniveau (polderpeil verlagen) (hoofdstuk 6);
- ook combinaties van de genoemde maatregelen zijn mogelijk.

Het principe van de technieken is weergegeven in fig. 5.5

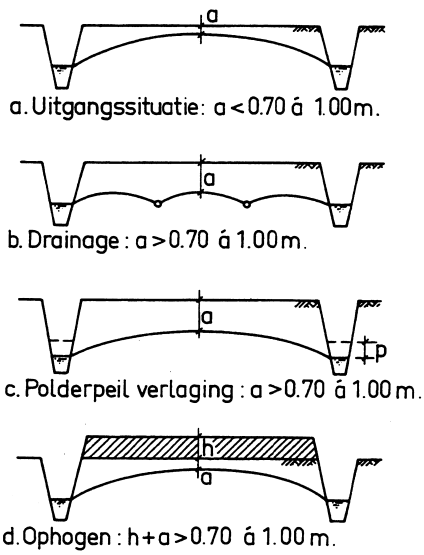


Fig. 5.5 Principe-oplossingen om een goede drooglegging te verkrijgen

In stedelijke gebieden worden de volgende ontwateringsmiddelen toegepast:

- drainagestelsels;
- open water (singels, grachten, sloten);
- verticale drainage (zandpalen, grindpalen, kunststofdrains);
- horizontale bronbemaling;
- verticale bronbemaling;
- verticale bronbemaling, gecombineerd met verticale drainage.

Drainagestelsels bestaan uit ondergronds gelegen buisleidingen, die het overtollige grondwater naar de sloten afvoeren. Het grondwater treedt binnen door de stootvoegen of perforaties. Tot voor kort werd in stedelijke gebieden vrijwel overal de grondwaterstand beheerst door een stelsel van open watergangen (singels en grachten). In landbouwgebieden zijn ondergrondse drainagesystemen met gebakken aarden buizen reeds 130 jaar bekend. De primaire functie ervan is de grondwaterstandsbeheersing. De primaire functie van de open watergangen is daarmee de waterafvoer. Ze kunnen daarom op grotere afstand van elkaar liggen. Ook in stedelijke gebieden wordt steeds meer drainage toegepast als middel om de grondwaterstand te beheersen. Het open water is dan alleen nog nodig voor afvoer van drainage- en rioolwater en voor berging van dit water. Bovendien worden aan stedelijk open water ook geheel andere functies toegekend. Hierop wordt in hoofdstuk 6 nader ingegaan.

De drainagetechniek in stedelijke gebieden is vanuit de landbouw ontwikkeld en draagt daar ook de kenmerken van. Ontwikkeling van een stedelijke drainagetechniek is echter de laatste jaren op gang gekomen (par. 5.5). Een specifiek kenmerk van de stedelijke drainagetechniek is de geringere kwetsbaarheid van de drainage-systemen

tijdens de bouwfase als er veel in de bodem wordt gegraven en geheid. Daarnaast moet bij het ontwerp rekening worden gehouden met het onderhoud dat in een stedelijk gebied gecompliceerder is dan in een landbouwgebied. In een woongebied zijn vele verschillende eigenaren-beheerders aanwezig. Bovendien kan de overlast bij het onderhoud groot zijn (par. 5.4 en 5.8).

5.3 Drooglegginsgeisen

Tijdens de bouwwerkzaamheden moet geen hinder ondervonden worden van te hoge grondwaterstanden.
Werkzaamheden in bouwputten moeten in de droge kunnen worden uitgevoerd. Indien fundering op staal wordt toegepast worden bouwputten meestal tot een diepte van 0,60 à 0,70 m ontgraven. Bij fundering op palen is de bouwput in het algemeen 0,50 à 0,70 m diep. Dit leidt tot een drooglegginsgeis van 0,60 à 0,70 m beneden maaiveld. Bij diepere ontgravingen wordt over het algemeen bronbemaling of putbemaling toegepast.

Kabels en leidingen moeten in de droge worden aangelegd. Als het grondwater te hoog staat worden de werkzaamheden ernstig belemmerd. Ook later, als de wijk bewoond is, moeten herstelwerkzaamheden aan deze kabels en leidingen in de droge kunnen worden uitgevoerd. Meestal liggen de leidingen volgens een vaste indeling en een vaste diepte in de grond (tabel 5.2; hoofdstuk 8). Dit leidt tot een drooglegginsgeis van 0,60 à 1,00 m beneden maaiveld.

Tabel 5.2. De gronddekking van verschillende nutsleidingen in m (NEN 1739)

Laagspanningskabel (< 10 kV)		0,60
Hoogspanningskabel (⩾ 10 kV)		0,90
PTT-kabel		0,50–0,60
Gasleiding		0,65–1,00
Waterleiding		0,80
Riolering-gemengd stelsel	minimaal	1,00
Riolering-gescheiden R.W.A.	minimaal	1,00
D.W.A	minimaal	1,00
Stadsverwarming	minimaal	0,50–0,90

Ook de normale werkzaamheden bij de aanleg van wegen, parkeerterreinen en trottoirs mogen niet worden belemmerd door een te hoge grondwaterstand. Veelal wordt voor wegen een zandcunet aangebracht, dat in de droge moet worden aangelegd en drooggehouden (hoofdstuk 4). Uit tabel 5.3 volgt hiervoor een drooglegginsgeis van 0,60 à 1,00 m beneden maaiveld.

Tabel 5.3. Diepte van het te ontgraven cunet (hoofdstuk 4)

primaire wijkwegen	1,00 m
secundaire wijkwegen	0,70 m
pleinen en parkeerterreinen	0,40 m
trottoirs	0,20 m

In hoofdstuk 4 is reeds besproken dat, in verband met de begaanbaarheid van klei- en veengronden, de grondwaterstand 0,70 m beneden het maaiveld moet staan. Indien bij zandgronden en zandophogingen rekening wordt gehouden met spoorvorming geldt ook daarvoor een drooglegginsgeis van 0,70 m.
De ontwatering rond en onder gebouwen dient zo te zijn dat er zich geen grondwater in de kruipruimte bevindt. Indien dit wel het geval is zal er op den duur schade aan de

gebouwen optreden. Dit betreft rotting van houtwerk, schade aan parketvloeren, aantasting van c.v.-leidingen en verwarmingskokers, eventueel zelfs aantasting van gasleidingen (ontploffingsgevaar!) en vochtig wordende muren. Bovendien vermindert de leefbaarheid van de woningen door het ontstaan van een slechte atmosfeer waardoor ziektes als astma worden gestimuleerd [5-4, 5-5]. Een slechte atmosfeer geldt zeker bij de toepassing van heteluchtverwarming met een natte kruipruimte als retourplenum. In vochtige woningen is het energieverbruik hoger dan in droge woningen. Via een vloer waaronder gedurende het stookseizoen water staat kan het warmteverlies aanmerkelijk groter zijn dan indien er geen water staat [5-28]. Als norm wordt aangenomen dat het grondwater in het algemeen 0,20 m beneden de vloer van de kruipruimte moet staan. De vloer van de kruipruimte moet 0,60 à 0,70 m beneden de vloerpeil van de woning liggen, dat wil zeggen 0,40 à 0,50 m beneden maaiveld. De eis van een droge kruipruimte leidt tot een drooglegginsgeis van 0,60 à 0,70 m beneden maaiveld. In dit verband kan over het algemeen niet veel effect verwacht worden van een bodemafsluiter onder de huizen omdat deze vaak niet voldoende waterdicht is. Het effect is dan dat het water minder snel stijgt, maar dat het dan ook langer duurt voor het weer verdwenen is. Het maken van een waterdichte bodemafsluiter is natuurlijk wel mogelijk, maar zeer duur.

Een weg dient zodanig geconstrueerd te zijn dat deze bij de optredende ontwerpbelasting stabiel is. De belangrijkste oorzaken van beschadiging van een wegconstructie zijn vorst, en dan vooral opdooi, en dynamische verkeersbelasting [5-6, 5-7]. Een zandbed waarvan het zand voldoet aan de eisen van Rijkswaterstaat is niet opdooigevoelig, mits het zandbed goed is gedraineerd. Daarnaast is de drooglegging van het zandbed van belang omdat met water verzadigd zand aan stabiliteit inboet. Dit leidt tot de volgende drooglegginsgeisen:

- wegen met intensief zwaar verkeer: 1,00 m beneden verhardingsoppervlak;
- wegen met minder intensief, minder zwaar verkeer (woonstraten): 0,70 m beneden verhardingsoppervlak.

Wat het gebruik van alternatieve materialen in de wegcunetten betekent voor de ontwateringseis is nog onbekend [5-8].

Voor de drooglegging van tuinen en parken is het moeilijk algemeen geldende normen te geven, aangezien variatie in de ontwateringstoestand juist één van de mogelijkheden is om een gevarieerd natuurlijk milieu op te bouwen (hoofdstuk 7). Voor bomen is de hoogte van de grondwaterstand van belang. Te hoge grondwaterstanden verhinderen een diepe beworteling met als gevolg een slechte groei, verhoogde gevoeligheid voor ziekten en plagen, en het scheef staan en omwaaien. Voor de meeste houtsoorten geldt dat de gemiddelde hoogste grondwaterstanden niet hoger dan 0,40 à 0,50 m beneden maaiveld mogen komen. Daarnaast is het van belang dat de grondwaterstand zo min mogelijk varieert in de tijd.
Dit is vooral ook belangrijk als reeds bestaande beplanting binnen het plan gehandhaafd moet worden. Als veilig algemeen gemiddelde kan het beste de drooglegginsnorm voor akkerbouwgronden worden aangehouden. Deze is immers gericht op een optimale gewasproduktie. Voor Nederland is deze drooglegginsgeis 0,50 m beneden maaiveld bij een afvoer van 7 mm/etm.

In Nederland komen twee benaderingen voor met betrekking tot de normstelling voor de kleine industrieterreinen die in of naast woonwijken zijn gelegen en voor de centrumgebieden:

- Er wordt in het algemeen geen onderscheid gemaakt tussen eisen die gesteld worden aan deze gebieden en de woongebieden. Dit geeft een drooglegginsgeis van 0,70 tot 1,00 m beneden maaiveld.

- In een aantal gevallen worden deze gebieden niet bouwrijp gemaakt, alleen de wegen worden aangelegd om het gebied te ontsluiten (hoofdstuk 4). In elk afzonderlijk geval kunnen dan de normen en de daarbij behorende maatregelen worden bepaald, afhankelijk van het type bedrijf.

Zoals in par. 5.1.2 is aangegeven bestaat een drainagecriterium uit een drooglegginsgseis en een maatgevende afvoer. In verband met de hoge eisen die aan de ontwatering van een bouwterrein moeten worden gesteld als het gehele gebied nog onverhard is, verdient het aanbeveling als norm voor de afvoer tijdens de bouwfase een hogere norm dan voor de akkerbouw aan te houden. De laatste jaren wordt voorgesteld 10 mm te gebruiken (par. 3.2.3). Een aantal jaren geleden werd voor de ontwatering van terreinen na de bouw hetzelfde ontwateringscriterium gehanteerd als tijdens de bouw. Bij onderzoekingen in meetgebieden in Lelystad is gebleken dat een afvoer van 5 mm/etm zelden worden overschreden [5-9]. Doordat na de bouw 30 à 50% van het oppervlak verhard is en veel groen aanwezig is, is het ook aannemelijk dat de afvoer minder is.

Al het voorgaande is samengevat in tabel 5.4. Daarin zijn ook normen verwerkt voor sportvelden, kampeerterreinen en begraafplaatsen zonder dat daarop in de tekst verder wordt ingegaan.

Tabel 5.4. De drainagecriteria voor de verschillende bestemmingen in een stedelijk gebied

Activiteit/bestemming	Stationaire drainage-berekening	
	Drooglegging (m beneden m.v.)	Afvoer (mm/etm)
I. tijdens de bouwfase		
– aanleg van bouwwerken	0,60 – 0,70	
– aanleg van PTT-kabels	0,50 – 0,60	
laagspanningskabels	0,60	
gasleidingen	0,65 – 1,00	
hoogspanningskabels	0,90	
rioleringsbuizen	1,00 – 3,50	
– aanleg van primaire wegen	1,00	
secundaire wegen	0,70	
pleinen, parkeerterreinen	0,40	
– begaanbaarheid	0,50 – 0,70	
Samenvattend: tijdens de bouwfase	0,70 – 0,80	10
II. de woonfase		
– bouwwerken	0,70	
– kabels en leidingen	0,60 – 1,00	
– primaire wegen	1,00	
– secundaire wegen	0,70	
– industriegebieden, centrumgebieden	0,70	
Samenvattend: de woonfase	0,70	5 mm/etm
Tuinen, plantsoenen, parken	0,50	7
Kampeerterreinen [5-10]	0,50	10
Begraafplaatsen [5-10]	0,30 beneden onderkant kist	10
Sportvelden [5-10]	0,50	15
Niet-stationaire drainageberekening	0,70 drooglegging met overschrijdingsfrequentie 1 × per jaar	

Tijdens de bouwfase moet de drooglegging 0,70 à 0,80 m bedragen in het woongebied. Diepere ontgravingen moeten worden bemalen. Doorgaande wegen, riolering en stadsverwarming kunnen met een cunet- of sleufdrain worden aangelegd. Voor het woongebied moet de drooglegging 0,70 m bedragen.

5.4 Juridische aspecten

Beheer van grondwater heeft voor het eerst wettelijk vorm gekregen in de Grondwaterwet Waterleidingbedrijven uit 1954. De wet richt zich op wateronttrekking voor de drinkwaterwinning. In de loop van de jaren zeventig kwamen geleidelijk provinciale grondwaterverordeningen tot stand. In 1976 is het ontwerp Grondwaterwet in de Tweede Kamer behandeld. In deze wet staat ondermeer dat zij niet van toepassing is op het onttrekken van grondwater bij de ontwatering of afwatering van gronden. De typische stedelijke belangen bij het grondwater worden niet genoemd, ook niet in de memorie van toelichting. Er is dus geen alles omvattende wettelijke regeling voor het grondwater [5-11].
In een onderzoek naar de juridische aspecten van drainage door de gemeente Lelystad wordt geconcludeerd dat de gemeente publiekrechtelijk en privaatrechtelijk niet aansprakelijk kan worden gesteld voor de financiële gevolgen van een abnormaal hoge grondwaterstand [5-12]. Veelal is in de Bouwverordening een artikel opgenomen over de grondwaterstand. In de Model-Bouwverordening staat vermeld dat vloeren van woningen ten minste 0,45 m boven de normale hoogste grondwaterstand ter plaatse moeten liggen. Een ander artikel vermeldt dat de kruipruimte een minimale hoogte van 0,50 m moeten hebben. Combinatie van beide artikelen sluit wateroverlast niet uit. Burgemeester en Wethouders kunnen op grond van de Bouwverordening en de Woningwet de eigenaren van een woning aanschrijven om voorzieningen te treffen in verband met de kwaliteit van het wonen of de woning. De eigenaar zal dan zelf maatregelen moeten treffen om wateroverlast te bestrijden. Ook uit diverse rapporten en processtukken bij meningsverschillen tussen bewoners en gemeenten blijkt geen eenduidigheid over de kwaliteitseisen waaraan bebouwde terreinen moeten voldoen en wie daarvoor verantwoordelijk is (par. 1.4). De belangstelling van gemeenten om de grondwaterstand te beheren neemt echter toe, ondanks het feit dat zij juridisch niet aansprakelijk zijn. Te weinig nog wordt er evenwel rekening mee gehouden dat de ontwateringsmiddelen in de loop van de jaren systematisch moeten worden onderhouden (par. 5.8).

5.5 Drainagesystemen

5.5.1 Inleiding

Een drainagesysteem voor stedelijke gebieden kan bestaan uit een van de volgende systemen:
- enkelvoudige gebiedsdrainage;
- samengestelde gebiedsdrainage;
- cunetdrainage en rioolsleufdrainage;
- kruiselingse drainage;
- bouwblokdrainage;
- verticale drainage;
- diepdrainage, gecombineerd met horizontale bronbemaling.

Ook worden combinaties van bovengenoemde drainagesystemen toegepast. Open water in de vorm van singels is slechts zelden voldoende als ontwateringsmiddel. Wel geldt dit voor tot op grote diepte goed doorlatende zandgronden met een vrij diep ontwateringsniveau (par. 5.5.2).
Met uitzondering van de verticale drainage betreft het hier zogenaamde horizontale

drainagesystemen. Het systeem bestaat tegenwoordig uit al dan niet omhulde PVC-buizen, veelal ribbelbuizen. Het water treedt binnen via perforaties in de buiswand (par. 5.7). Het drainagewater wordt afgevoerd via het regenwaterriool, dan wel rechtstreeks naar de singels in het stedelijk gebied (fig. 5.6). Op basis van de draindiepte worden min of meer arbitrair onderscheiden:

- ondiepe drainage, drainage tot $\pm 1{,}50$ m beneden maaiveld;
- diepe drainage, drainage dieper dan $\pm 1{,}50$ m beneden maaiveld.

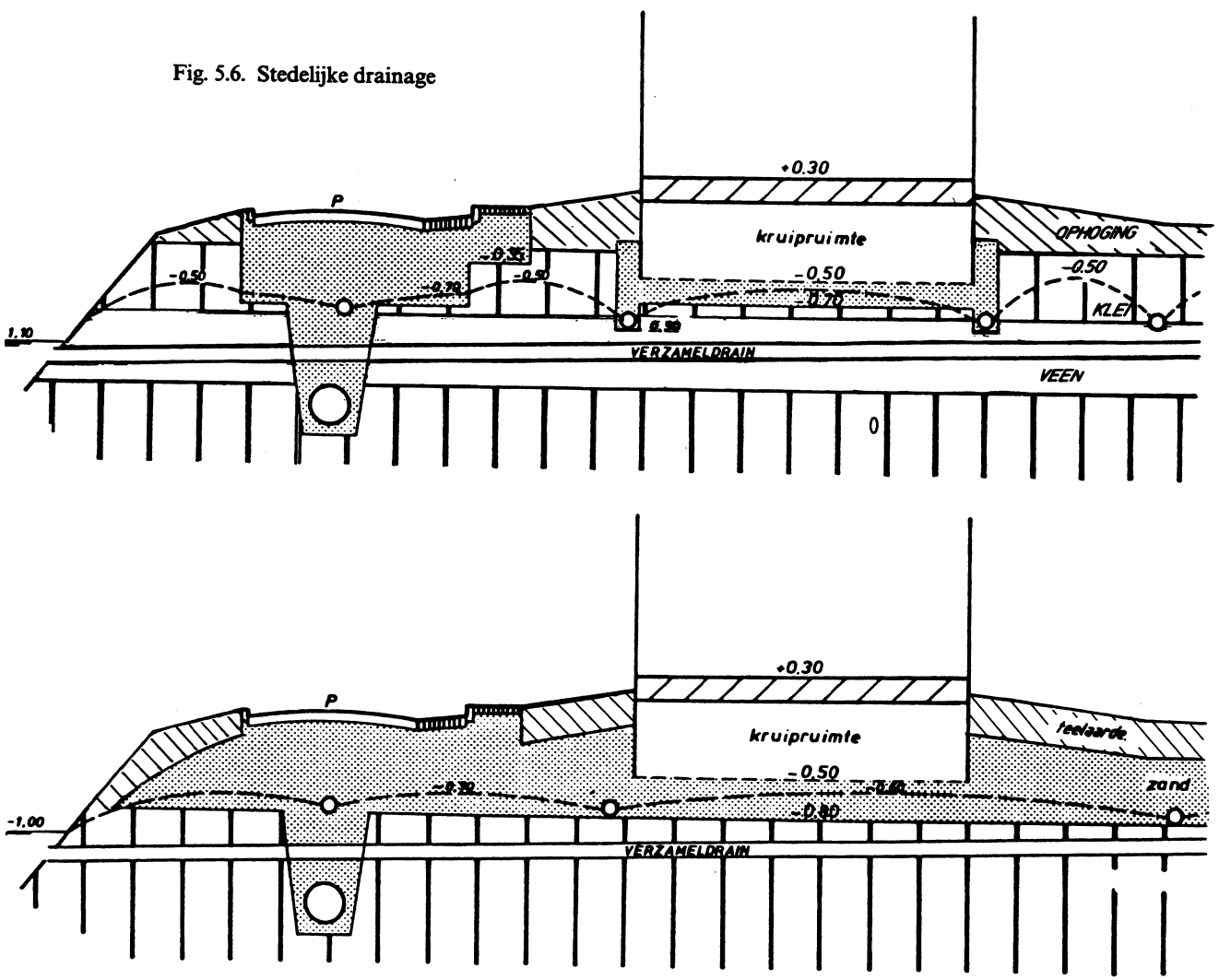
Toepassing van ondiepe drainage vóórdat de bouwwerkzaamheden starten is weinig effectief. Tengevolge van de vele werkzaamheden tijdens de bouwfase, zoals het graven van bouwputten, heiwerkzaamheden, diverse vormen van grondverzet en de aanleg van kabels en leidingen wordt een vooraf aangelegd drainagesysteem vernield.
Diepe drainage heeft als voordelen dat:

- de drainreeksen minder kans lopen te worden verstoord;
- de drainreeksen minder kans lopen dicht te gaan zitten ten gevolge van oxydatie en uitvlokken van ijzerverbindingen in gebieden met ijzerhoudend grondwater. De drains moeten beneden de grondwaterspiegel worden gelegd;
- de drainreeksen kunnen tijdens de bouwfase door tijdelijke onderbemaling als horizontale bronnering worden gebruikt.

Gezien de functies van de drainage zijn te onderscheiden:

- drainage ten behoeve van het bouwrijp maken;
- drainage ten behoeve van het gereed gekomen woongebied;
- drainage ten behoeve van terreinen en gebouwen die speciale eisen stellen.

Fig. 5.6. Stedelijke drainage



5.5.2 Enkelvoudige gebiedsdrainage

De enkelvoudige drainage is rechtstreeks overgenomen uit de landbouw. De landbouwpercelen zijn in het algemeen van een dusdanige vorm en afmeting dat de drainage rechtstreeks afvoert op de sloten. Ook in stedelijke gebieden kan een dergelijk systeem goed worden toegepast (fig. 5.7). Het voordeel van dit systeem is dat het goedkoop is aan te leggen en in principe goedkoop te onderhouden. Het nadeel is dat het systeem gemakkelijk verstoord wordt door bouwactiviteiten.
Veelal is de afstand tussen singels in het stedelijk gebied te groot om het enkelvoudige drainagesysteem goed te kunnen onderhouden.

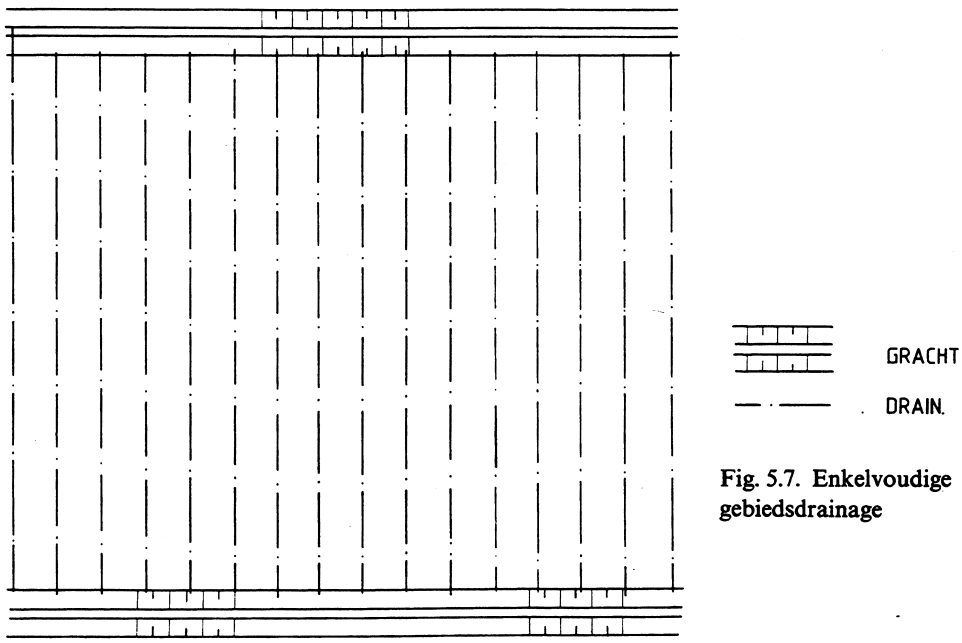


Fig. 5.7. Enkelvoudige gebiedsdrainage

Het systeem wordt wel toegepast als tijdelijke drainage ten behoeve van het bouwrijp maken van het terrein en de bouw. De drainage wordt dan geacht alleen te functioneren tijdens de bouw en wordt dan ook afgeschreven. Na de bouwfase moet dan een definitieve drainage worden aangelegd.
Om verstoring van de enkelvoudige drainage zoveel mogelijk te voorkomen is het gewenst de drainage 1,50 m dieper onder het toekomstige maaiveld aan te leggen. Het systeem kan worden aangelegd met draineermachines. Gezien het tijdelijk karakter van deze bouwdrainage worden de drains ook wel eens uitgerold op het oude maaiveld voordat de opspuiting met zand plaatsvindt. Dit is veel goedkoper. De werking van de drains zal dan echter belemmerd worden door de sliblagen die zich tijdens het opspuiten op het oude maaiveld vormen. Het systeem kost *f* 5,– à *f* 10,– per m^1, afhankelijk van onder andere het omhullingsmateriaal, hetgeen resulteert in *f* 3500,– à *f* 10.000,– per hectare, afhankelijk van de drainafstand (prijspeil 1983).

5.5.3 Samengestelde gebiedsdrainage

Indien de afstand tussen de watergangen te groot wordt of als er teveel obstakels voorkomen in het stedelijk gebied, dan kan een samengesteld drainagesysteem worden aangelegd. De zuigdrains worden daarbij aangesloten op een afvoerdrain (hoofddrain) en voeren het water geheel of gedeeltelijk af door de hoofddrain, of gedeeltelijk rechtstreeks op de singels (fig. 5.8). De hoofddrain wordt aangesloten op het regenwaterriool of mondt uit op de singels. De in fig. 5.8 aangegeven maten zijn maximale maten en hangen samen met de mogelijkheden van het onderhoud (par. 5.8). Uitgaande van de

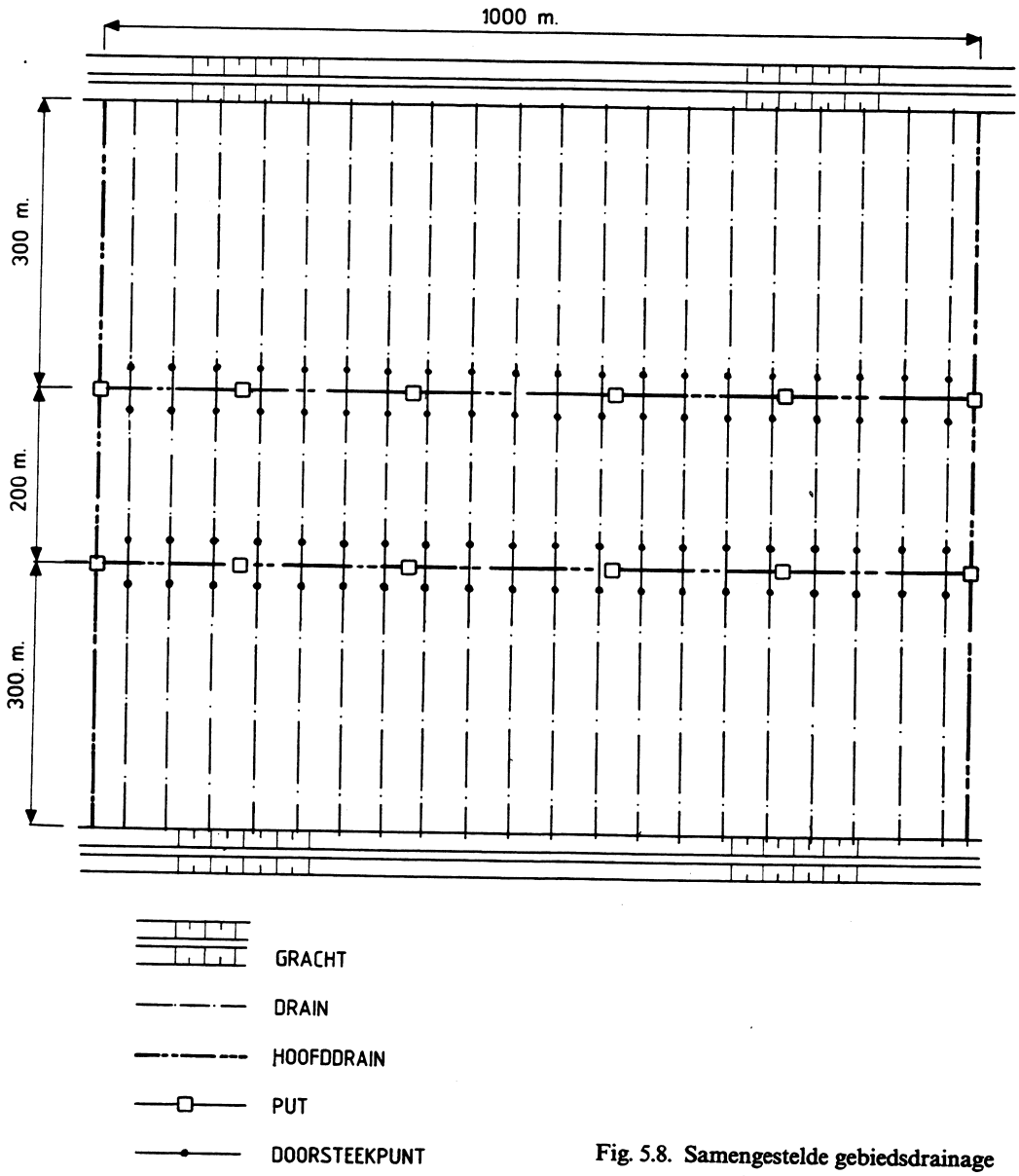


Fig. 5.8. Samengestelde gebiedsdrainage

drie functies van drainage wordt het systeem in twee fasen aangelegd [5-9]. De eerste fase is direct na het opspuiten. De drains worden met een draineermachine evenwijdig aan elkaar gelegd. Om verstoringen zoveel mogelijk te voorkomen is het gewenst de drainage 1,50 m of dieper onder het toekomstige maaiveld aan te leggen. De drains voeren voorlopig af op het bestaande slotensysteem. Wanneer het stedebouwkundig plan enkele maanden voor de aanvang van de woningbouw klaar is kan de tweede fase worden aangelegd. Deze fase bestaat uit het aanbrengen van de afvoermogelijkheden, bijvoorbeeld op de nieuw aangelegde singels. Ook kunnen aanvullingen op het net worden aangebracht of aansluitingen op de riolering. Om verstoringen op te vangen, die te verwachten zijn als gevolg van het aanbrengen van heipalen en de aanleg van rioolbuizen, wordt tweezijdige afwatering van elke drainreeks mogelijk gemaakt. Deze aanleg in de tweede fase gebeurt met behulp van een graafmachine, hetgeen kostbaar is. Indien toegepast in zandgronden kan de eerste fase worden overgeslagen en het systeem wordt dan aangelegd als het stedebouwkundig plan gereed is (fig. 5.9). Ook dit systeem is in de praktijk kwetsbaar gebleken; bij beschadiging van de hoofddrain is het systeem geheel verstoord.

De zuigdrains kosten *f* 5,– à *f* 10,– per m^1, hetgeen resulteert in *f* 3500,– à *f* 10.000,– per

hectare, afhankelijk van de drainafstand (prijspeil 1983). Het aanbrengen van de hoofddrains en de aanpassingsdrainage kost *f* 35,– per m^1. Indien 200 m^1 hoofddrains en aanpassingsdrains moeten worden aangelegd zijn de kosten daarvan *f* 7000,– per hectare (prijspeil 1983). De totale drainagekosten bedragen dan *f* 10.000,– à *f* 17.000,– per hectare.

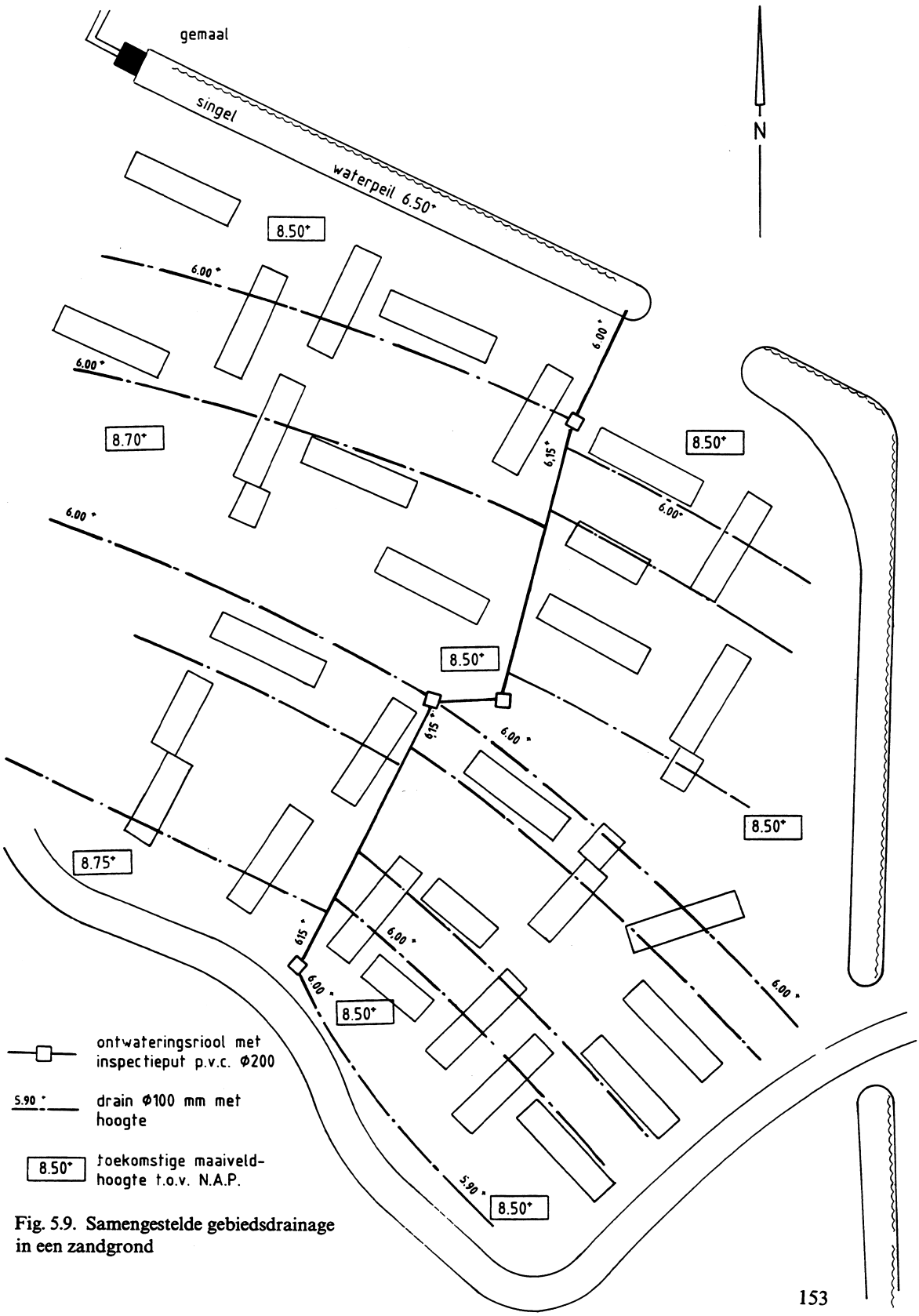


Fig. 5.9. Samengestelde gebiedsdrainage in een zandgrond

5.5.4 Cunetdrainage en rioolsleufdrainage

Aangezien bij zand de draagkracht bij een hoog vochtgehalte afneemt is drainage van het wegcunet nodig.

Deze drainage wordt aangebracht in een ondiepe sleuf aan de buitenzijde van het cunet. Onder de drain wordt lavaliet of split aangebracht (fig. 5.10). Ook kan omhulde buis worden toegepast. Op afstand worden afvoerbuizen loodrecht op de drains naar sloot of gracht of riool aangebracht. De kosten voor cunetdrainage bedragen *f* 7,50 à *f* 10,– per m^1, hetgeen overeenkomt met *f* 2500,– à *f* 5000,– per hectare woongebied (prijspeil 1983).

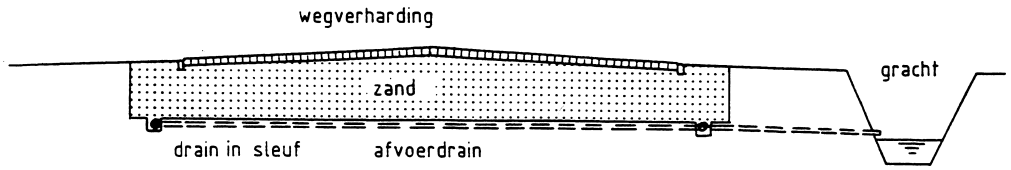


Fig. 5.10. Cunetdrainage

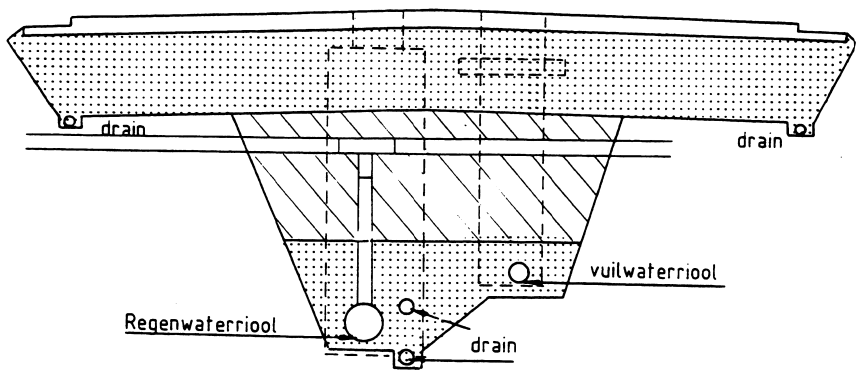


Fig. 5.11. Drainage van de rioolsleuf

Ook de rioolsleuf kan van een drain worden voorzien (fig. 5.11). Een mogelijkheid is om onderin de rioolsleuf een drain te leggen, die alleen dient om de rioolsleuf droog te houden tijdens de aanlegwerkzaamheden. Nadat het riool gelegd is wordt de rioolsleuf gedeeltelijk opgevuld met zand tot de gewenste draindiepte is bereikt. Daarna worden de definitieve drains gelegd en aangesloten op aansluit-uitsparingen in de straatkolk van het regenwaterriool. De straatkolk fungeert dan tevens als inspectieput en doorspuitpunt. Het regenwaterriool moet hiervoor wel diep genoeg liggen. Per hectare woongebied ligt globaal gesproken 200 à 250 m^1 regenwaterriool.

5.5.5 Kruiselingse drainage

Het kruiselingse drainagesysteem is ontwikkeld en alleen nog maar toegepast in de IJsselmeerpolders (fig. 5.12) [5-13]. Bij dit systeem worden twee drainagenetten loodrecht op elkaar gelegd. Om bij het aanleggen van het tweede stelsel een zo goed mogelijke aansluiting op het eerste stelsel te verkrijgen wordt het tweede stelsel $\pm 0{,}15$ m hoger gelegd. Het eerste stelsel wordt bedekt met 0,15 m lavaliet, zodat het tweede stelsel dit bedekkingsmateriaal aansnijdt. Lavaliet is een filtermateriaal dat in de juiste korrelverdeling goed geschikt is als filter rondom drains. Het aansnijden van het bedekkingsmateriaal is essentieel om het water via het filtermateriaal van het ene naar het andere net te laten stromen. Bij verstoringen door bijvoorbeeld heipalen behoudt het drainagesysteem via de kruispunten een afvoermogelijkheid. Om verstoringen door rioleringen te voorkomen moet het kruiselingse systeem dieper dan de

rioleringen worden gelegd. Een belangrijk deel van de riolering ligt hoger dan ongeveer 2,00 m beneden maaiveld. De kruiselingse drainage wordt daarom op ongeveer 2,00 m diepte beneden maaiveld aangebracht. In fig. 5.10 is het kruiselingse drainagesysteem weergegeven.
Ook dit systeem kan direct na het opspuiten met een draineermachine worden aangelegd. Door het toepassen van op lasers gebaseerde apparatuur voor diepteregeling kan de diepteligging nauwkeurig worden geregeld. De voor het systeem van belang zijnde maten zijn weergegeven in fig. 5.12.

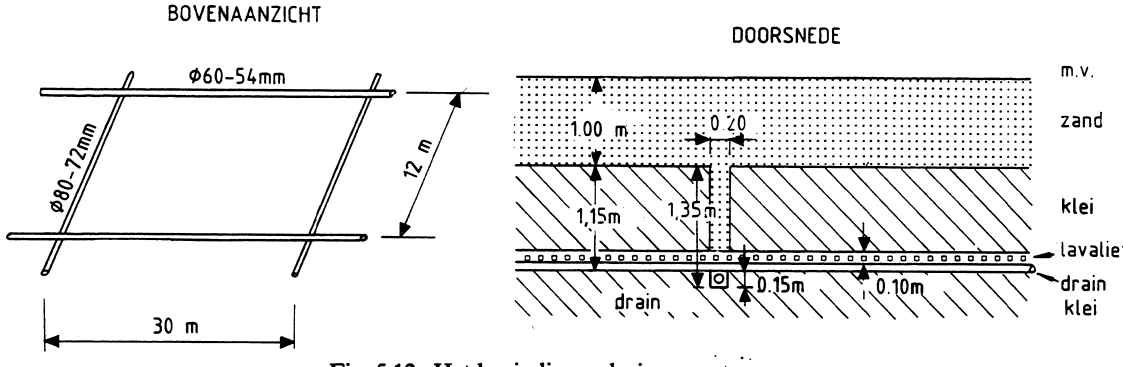


Fig. 5.12. Het kruiselingse drainagesysteem

Tijdens de aanleg van de stadsgrachten moet de afvoer van de drainage in de oeverafwerking worden opgenomen. Daar waar de riolen de drainage toch nog doorsnijden dient de drainage te worden hersteld, of dient het net te worden aangepast. In incidentele gevallen kan het ook bij dit systeem nog noodzakelijk zijn om plaatselijke afvoerputten naar het riool te maken. De kosten bedragen in de IJsselmeerpolders ongeveer *f* 8,– per m^1, hetgeen resulteert in *f* 8000,– à *f* 10.000,– per hectare, afhankelijk van de drainageafstand (prijspeil 1983). Indien 100 m^1 aanpassingsdrains moeten worden aangelegd zijn de kosten daarvan ongeveer *f* 3500,– en de totale kosten dus *f* 10.000,– à *f* 13.000,– per hectare (prijspeil 1983).

5.5.6 Bouwblokdrainage (ringdrainage)
Ringdrainage wordt rondom gebouwen of huizen gelegd, op niet te grote afstand van de gevel (fig. 5.13). Deze drainage is bedoeld als definitief drainagesysteem, dat wil zeggen voor de woonfase. In gevallen waar geen integrale ophoging met zand is toegepast maar

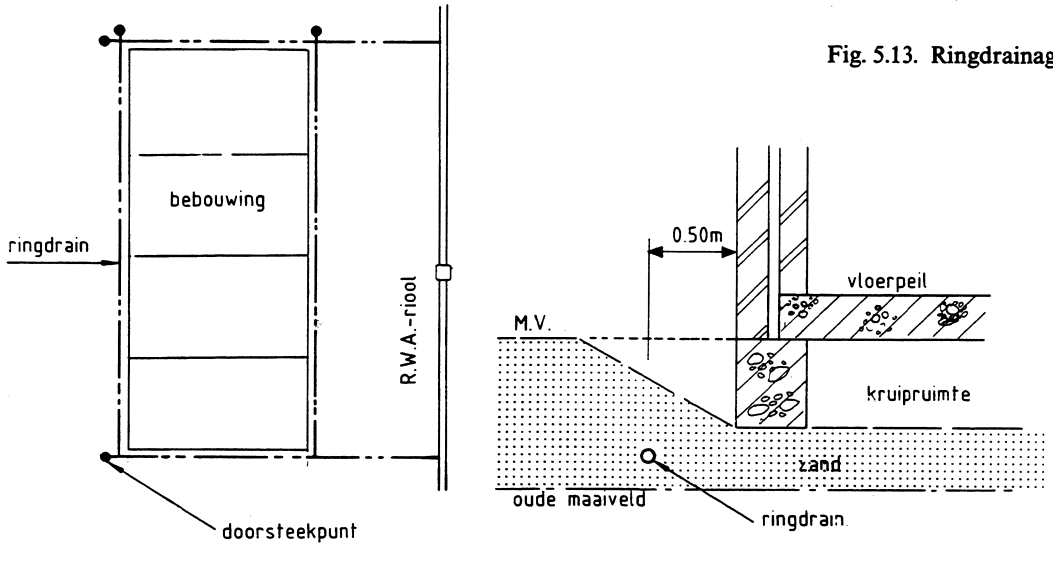


Fig. 5.13. Ringdrainage

de bouwput in slecht doorlatende klei of zandgrond is ontgraven, moet in de bouwput 0,30 m zand worden aangebracht. De ringdrain aan de buitenzijde van de gevel moet ook minstens 0,30 m onder het oppervlak van het aangebrachte zand worden aangelegd in verband met het realiseren van een voldoende drooglegging en het voorkomen van verstoringen door de aanleg van kabels en leidingen.
Om verstoringen te voorkomen zou de drainage bij voorkeur aangelegd moeten worden nadat de bouwactiviteiten achter de rug zijn. Dit geeft echter veel problemen ten gevolge van de aanwezigheid van kabels en leidingen en geeft dus hoge kosten. De drainage moet daarom vooruitlopend op de bouw worden aangelegd. Wanneer een gescheiden rioleringssysteem wordt toegepast vindt de afvoer in het algemeen plaats op het regenwaterriool. Bij een gemengd systeem dient de drainage te lozen op het open water. Om verstoringen dan zoveel mogelijk te voorkomen moeten de drains ongeveer 1,00 m uit de gevel worden gelegd op een diepte van 1,50 m beneden vloerpeil. Bij aanleg met de kraan wordt dieper aanleggen kostbaar [5-9]. De aanleg van ringdrainage met de kraan kost ongeveer *f* 13.000,– à *f* 19.000,– per hectare, afhankelijk van de woningdichtheid (prijspeil 1983). Dit is ongeveer *f* 450,– per woning. Berekeningen hebben uitgewezen dat de kosten van het met een kleine draineermachine aanleggen van ringdrainage, direct voor de aanleg van de riolering, ongeveer 30 à 40% bedragen van de aanleg van ringdrainage met de kraan. Dit betekent dat de kosten ongeveer *f* 150,– à *f* 250,– per woning bedragen (prijspeil 1983). Ervaringen met ringdrainages, die voor de bouw zijn gelegd op 0,50 m uit de gevel en op een diepte van 1,00 m beneden maaiveld geven aan dat daarbij de nodige problemen ontstaan [5-14]. De kwetsbaarheid van het systeem blijkt vrij groot, terwijl ontwerp en uitvoering problemen geven bij verspringende gevels en uitbouwsels als schuren. Het onderhoud na oplevering van de woningen veroorzaakt de bewoners van de hoekwoningen overlast in de tuin. Vooral bij koopwoningen kan dit problemen opleveren.
Evaluatie van een aantal alternatieven van ringdrainages leidt tot een systeem zoals weergegeven in fig. 5.14. De drainage wordt dan aangelegd direct na het maken van de fundatie en voordat de vloeren gelegd worden. Om een goede afstemming te krijgen

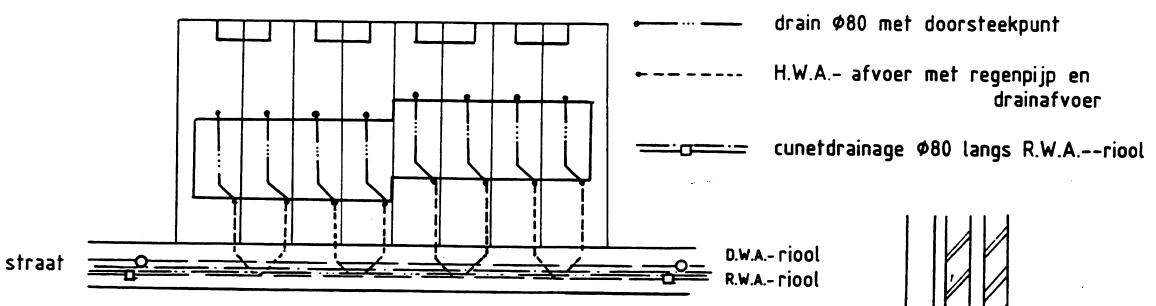
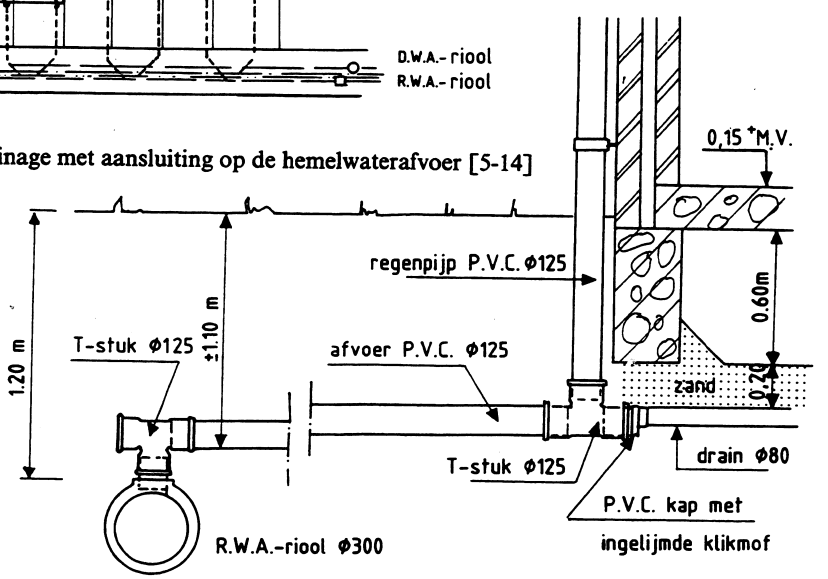


Fig. 5.14. Bouwblokdrainage met aansluiting op de hemelwaterafvoer [5-14]



tussen de aanleg van de drainage en de woningbouw, en om de kosten aanvaardbaar te houden, kan gewerkt worden met één aannemer op basis van een jaarcontract. Een op deze wijze aangelegde bouwblokdrainage kostte ongeveer *f* 200,– per woning in 1980 [5-14].
In bestaande stedelijke gebieden, bestaande nieuwbouw die zonder drainage is aangelegd, en bij stadsvernieuwing, zal ringdrainage of blokdrainage moeten worden aangelegd. Uit uitgevoerde projecten bij bestaande nieuwbouw blijken de kosten hiervan zeer hoog te zijn: *f* 1000,– à *f* 5000,– per woning (prijspeil 1983). Dit is vooral het gevolg van de aanwezigheid van kabels en leidingen.

5.5.7 Verticale drainage

Verticale drainage wordt hoofdzakelijk toegepast voor het versnellen van de zetting door het bevorderen van het uittreden van water uit samengedrukte, slecht doorlatende lagen (hoofdstuk 4). Echter, ook toepassing ten behoeve van de afvoer van grondwater uit de bovenlaag door de slecht doorlatende klei- en veenlagen heen naar het diepere waterdoorlatende pleistoceen is mogelijk [5-15]. Zoals eerder gezegd, worden de zandpalen of kunststofdrains in de regel in een vierkanten- of driehoeksnet geplaatst, met onderlinge afstanden van 2 tot 5 m. De afstanden worden vooral bepaald door de doorlatendheid van de paal en de afvoermogelijkheden in de watervoerende ondergrond (hoofdstuk 4). Als variant op dit systeem kan bij een relatief dun slechtdoorlatend pakket het doorgraven van cunetten en/of bouwputten tot in het pleistoceen worden genoemd.

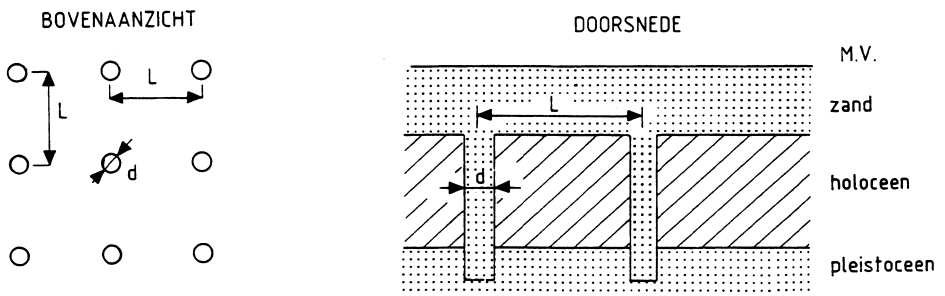


Fig. 5.15. Verticale drainage

Om verticale drainage ten behoeve van de ontwatering te kunnen toepassen moet aan een drietal voorwaarden voldaan worden:
- de stijghoogte in het pleistocene zand moet zodanig zijn dat het water naar behoren naar beneden kan worden afgevoerd, dat wil zeggen voldoende diep beneden de grondwaterstand in het opgespoten zand;
- de doorlatendheid van het pleistocene zand moet zodanig zijn dat het water kan worden afgevoerd;
- de zettingen welke zullen ontstaan als gevolg van de betere afwateringsmogelijkheden voor het holoceen mogen slechts beperkt zijn.

Tabel 5.5. Kosten in guldens per hectare in relatie tot de afstand van de palen en het toegepaste filtermateriaal, bij een paallengte van 7 m (prijspeil 1980) [5-15]

Vullingen van de drains	Afstand tussen de palen in m			
	2	3	4	5
met zand van het stort	70.000	31.000	17.500	11.000
met aangevoerd zand	102.500	45.500	25.500	16.500
met lavaliet	125.000	55.500	31.000	20.000
met split	135.000	60.500	34.000	22.000

De kosten voor verticale drainages liggen bij de toepassing in bouwterreinen vaak aanzienlijk hoger dan de kosten voor horizontale drainage. In tabel 5.5 is een overzicht gegeven van de kosten zoals berekend voor toepassing in Lelystad, waar de verticale drains een lengte zouden moeten hebben van tenminste 7 m.
Hoewel er geen praktijktoepassingen bekend zijn, lijkt het in principe mogelijk om een horizontaal drainagesysteem te koppelen aan een verticaal drainagesysteem (fig. 5.16).

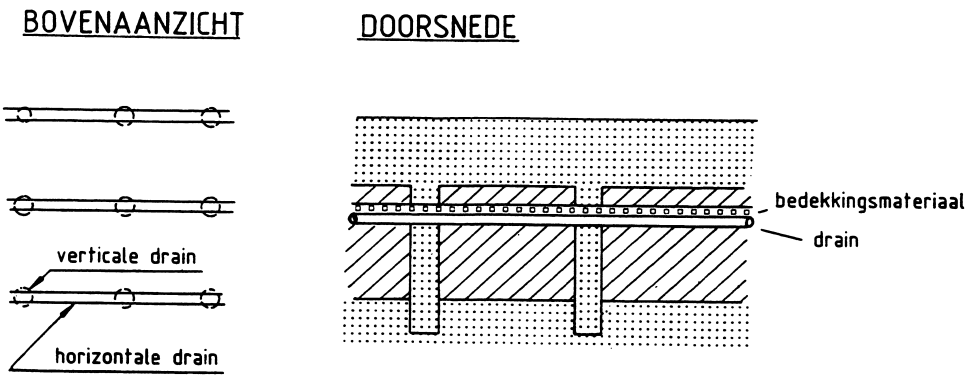


Fig. 5.16. Combinatie van horizontale en verticale drainage [5-15]

Op deze wijze kan een belangrijke reductie worden verkregen op de kosten voor het verticale drainagesysteem doordat de paalafstand groter kan worden. De kosten worden dan geschat op *f* 7500,– à *f* 10.000,– per hectare [5-15]. Het voordeel van dit systeem is de relatieve ongevoeligheid voor verstoringen door het grote aantal verticale afvoerpunten.

5.5.8 Diepdrainage gecombineerd met horizontale bronbemaling
Diepdrainage kan naast de zettingsversnelling en de drooglegging van het bouwterrein tevens worden gebruikt voor het geheel of gedeeltelijk vervangen van bronbemaling ten behoeve van de aanleg van rioleringen en eventuele andere diepe grondwerkzaamheden [5-16].
De ondiepe en diepe drainage hebben gemeen dat met beide systemen na de bouwfase dezelfde drooglegging kan worden bereikt (fig. 5.17). De diepere ligging van de drains is daarom alleen van belang vanwege de voordelen tijdens de bouwfase en bij reparatiewerkzaamheden na de bouwfase. Bronbemaling kan namelijk grotendeels worden vervangen door onderbemaling van de diepdrainage. De onderbemaling vindt plaats in de inspectieputten en niet rechtstreeks op de drains (fig. 5.17).
De grondwaterstand wordt sterk verlaagd, zodat een droge werksleuf voor bijvoorbeeld de aanleg van de riolering ontstaat. Als de zuigdrains parallel aan de rioleringen worden gelegd kan telkens een deel van het tracé worden onderbemalen. Er bestaat ook de mogelijkheid afzonderlijke compartimenten droog te leggen.
De exacte diepteligging is met betrekking tot de werking van het systeem van ondergeschikt belang. De aanlegdiepte komt tot stand na afweging van de voordelen en de aanlegkosten, die hoger worden naarmate het systeem op grotere diepte wordt aangelegd. Het diepdrainagesysteem mondt uiteindelijk uit in open water. Daarbij kunnen twee situaties worden onderscheiden (fig. 5.18):
- diepdrainage met vrije lozing;
- diepdrainage met onderbemaling.

Omdat bij diepdrainage de weg van het water naar de drains erg lang is mag het niet te veel weerstand ondervinden. Daarom kan diepdrainage alleen worden toegepast op plaatsen met een zogenaamd open bodemprofiel. De gronden moeten goed doorlatend

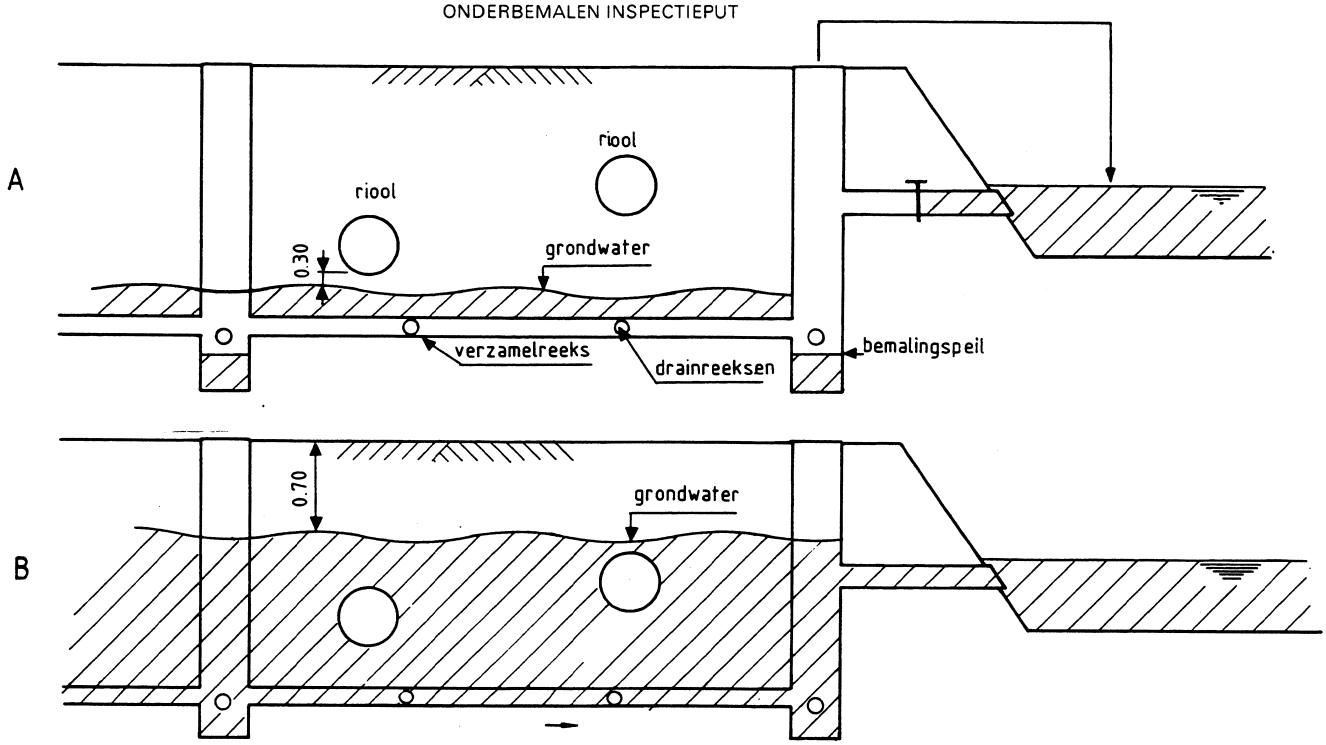


Fig. 5.17. De werking van diepdrainage.
Situatie A: tijdens de aanleg van riolering en bij grondwerken;
Situatie B: na de bouwfase [5-16]

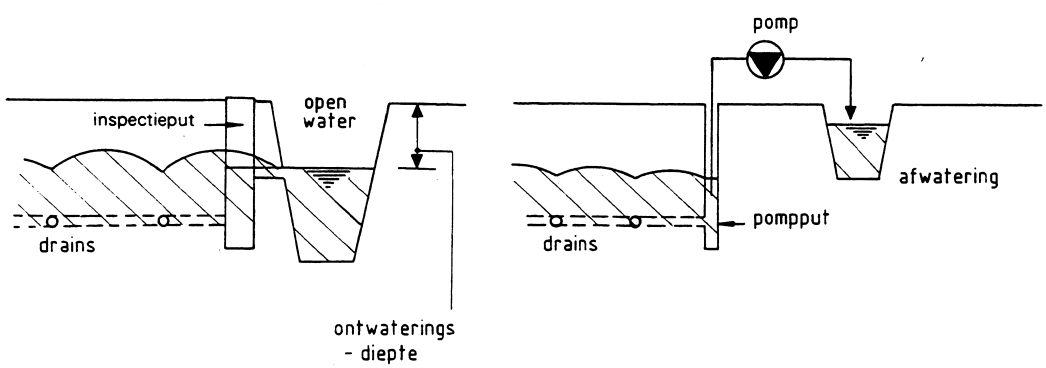


Fig. 5.18. Lozing van diepdrainage [5-16]

zijn tot een diepte van enkele meters beneden drainniveau. Het betreft vooral de zandgronden. Het lutumgehalte dient kleiner te zijn dan 8% en het organisch stofgehalte kleiner dan 3%. Diepdrainage wordt ondermeer toegepast in gebieden met ondiepe storende leemlagen en leemlenzen. In deze gronden moet in de drainsleuven zand worden aangebracht met een goede doorlatendheid.

5.5.9 Evaluatie van drainagesystemen

Gegeven de drie functies van drainage zoals beschreven in par. 5.1.1 moet voor drainage in gebieden waar de bebouwing op palen is gefundeerd een systeem worden aangelegd dat bestand is tegen verstoringen tijdens de bouw of er moet voor de periode na de bouw een nieuw systeem worden aangelegd. De drainage van het bouwterrein dient om de zetting te versnellen en het mogelijk te maken dat het bouwterrein goed ontwaterd en begaanbaar is. De drainage moet daarvoor zo snel mogelijk na een eventuele zandophoging worden aangelegd. Ervaring heeft uitgewezen dat het vooral de aanleg

van de riolering is waardoor de tamelijk ondiepe enkelvoudige en samengestelde drainage veelal wordt verstoord. Het erg diep leggen van de drains lost dit probleem ten dele op. Als dan verstoring plaatsvindt is dit nauwelijks te herstellen. Daarom is men overgegaan tot het kruiselings drainagesysteem, met drainafstanden van ongeveer 30 m op een diepte van ongeveer 1,50 m beneden het maaiveld. Dit systeem kan goed de functie van bouwdrainage vervullen.
Welk drainagesysteem ook voor de bouw wordt aangelegd en hoe het ook wordt aangelegd, ervaring leert dat het nodig is een tweede drainagesysteem aan te leggen na de bouwfase als men een goed ontwaterd woongebied wil verkrijgen. Hiervoor is een bouwblokdrainage geschikt, gecombineerd met cunetdrainage. Gebleken is dat in talrijke uitbreidingsplannen, waar geen drainage was aangelegd om te functioneren tijdens de woonfase, achteraf alsnog drainage is aangelegd. Het achteraf aanleggen van drainage gaat echter gepaard met overlast en hoge kosten.
In gebieden waar geen paalfundering behoeft te worden toegepast is het toepassen van diepe drainage, met mogelijkheden om de drains als bronbemaling te gebruiken, een geschikt systeem voor zowel bouw- als woonfase.
Als drainage wordt aangelegd is het nodig dat rekening wordt gehouden met het feit dat het systeem moet worden onderhouden. Dit vraagt vanaf de eerste fase van ontwerp en aanleg alle aandacht (par. 5.7.3) en de beschikbaarheid van financiën in het kader van beheerplannen (par. 9.7).

5.6 Dimensionering van de ontwateringsmiddelen

5.6.1 Inleiding

Bij de dimensionering zijn de volgende onderwerpen aan de orde:
- de afstand tussen de ontwateringsmiddelen;
- de diepte van de ontwateringsmiddelen;
- bepaling van de buisdiameter.

De afvoer van grondwater is zoals gezegd een niet-stationaire stroming, ten gevolge van de van dag tot dag veranderende neerslag en verdamping. De berekening van de drainafstand wordt met drainageformules gedaan. Deze formules zijn hanteerbare formuleringen van het grondwaterstromingsprobleem. Er zijn een aantal vereenvoudigingen aangebracht in de beschrijving van de grondwaterstroming om tot deze formules te komen. Zo zijn veel vergelijkingen gebaseerd op de aannamen van Dupuit-Forchheimer. Bij deze aannamen wordt de werkelijk optredende grondwaterstroming door een horizontale stroming vervangen. Ook zijn veel van de vergelijkingen gebaseerd op een stationaire situatie. Bij toepassing van deze stationaire drainageformules is in feite niets te zeggen over de werkelijke grondwaterstand. Indien men de werkelijk optredende grondwaterstand wil hanteren – door bijvoorbeeld de normstelling van een drooglegging die x-maal per jaar mag worden overschreden – moet men rekenen met niet-stationaire formules. Daarin zijn zowel het neerslagverloop als de berging van de grond verwerkt. De Jager ontwikkelde een berekeningsmethode waarbij het neerslag-afvoer-gedrag van water in de grond beschreven wordt met een systeemconstante [5-17]. Zeilmaker heeft deze methode uitgewerkt voor stedelijke gebieden met een verhardingspercentage van 40% [5-18]. De niet-stationaire methode heeft echter een aantal nadelen. Samengevat komen die er op neer dat, gezien al de onzekerheden in de gegevens die nodig zijn voor de berekening, het de vraag is of niet-stationaire benaderingen tot een beter of goedkoper ontwerp leiden.

5.6.2 Afstand van de ontwateringsmiddelen

De stroming van water door de grond kan worden beschreven met de wet van Darcy.

$$v = -K \cdot i \tag{5.1}$$

met v = stromingssnelheid in m/etm
K = doorlatendheid in m/etm
i = verhang

Donnan [5-19] nam aan dat in een waterdoorlatende laag boven een waterondoorlatende laag een ééndimensionale stroming plaatsvindt naar twee oneindig lange evenwijdige sloten (fig. 5.19). Bij een zekere uitgestrektheid van het stromingsveld ten opzichte van een dunne watervoerende laag is de benadering van een horizontale stroming redelijk. Bij de berekening wordt uitgegaan van een constante regenintensiteit van R mm op het maaiveld, zodat na enige tijd de afvoer door de grond even groot is als de neerslagintensiteit (stationaire toestand).

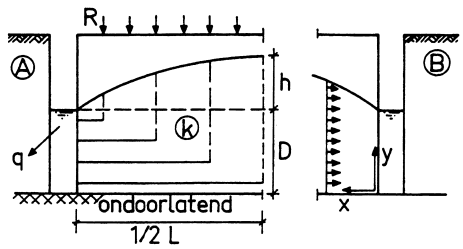


Fig. 5.19. De vergelijking van Donnan

Voor het debiet per m[1] lengte van de watergang geldt op een afstand x uit de watergang (fig. 5.19).

$q_x = R(\frac{1}{2}L - x)$ voor een vlak loodrecht op de tekening.

Deze afvoer moet volgens Darcy gelijk zijn aan:

$$q_x = -K \cdot i \cdot y = -K \cdot \frac{dy}{dx} \cdot y$$

zodat $R(\frac{1}{2}L - x) = K \cdot \frac{dy}{dx} \cdot y$

$R(\frac{1}{2}L - x)\,dx = K \cdot dy \cdot y$

integratie: $-\frac{1}{2}Rx^2 + \frac{1}{2}RLx = \frac{1}{2}Ky^2 + C$

randvoorwaarde: $x = 0,\ y = D$ dus $C = -\frac{1}{2}kD^2$

zodat $-Rx^2 + RLx = K(y^2 - D^2)$

randvoorwaarde: $x = \frac{1}{2}L,\ y = D + h$

zodat $RL^2 = 8KDh + 4kh^2$

$$R = \frac{8KDh + 4Kh^2}{L^2} \tag{5.2}$$

R = afvoer in m/etm
K = doorlatendheid in m/etm
D = diepte ondoorlatende laag onder ontwateringsniveau c.q. drainniveau in m
h = opbolling midden tussen de ontwateringsmiddelen in m
L = afstand tussen de ontwateringsmiddelen in m

Wanneer de sloot vrijwel droog staat of wanneer evenwijdige drains op de ondoorlatende laag liggen dan geldt:

$D = 0$ en verandert (5.2) in

$$q(=R) = \frac{4Kh^2}{L^2} \tag{5.3}$$

Deze vergelijking geeft de stroming boven het ontwateringsniveau of drainniveau weer. In dit geval geldt:

$K = K_2 = K$-boven het drainniveau

Als D groot is in vergelijking met h, dan is de 2e term van vergelijking (5.2) te verwaarlozen ten opzichte van de 1e term en wordt de vergelijking:

$$q(=R) = \frac{8K \cdot D \cdot h}{L^2} \tag{5.4}$$

Deze vergelijking geeft de stroming onder het ontwateringsniveau of drainniveau weer. Bovenstaande doet een 2-lagig bodemprofiel introduceren, gescheiden door het ontwaterings-(drain)-niveau met verschillende doorlatendheden K_1 en K_2, respectievelijk de horizontale doorlatendheden boven en onder het drainniveau in m/etm. Vergelijking 5.2 kan dan als volgt worden geschreven:

$$q = (=R) = \frac{8 \cdot K_1 \cdot D \cdot h + 4K_2 \cdot h^2}{L^2} \tag{5.5}$$

In de praktijk komt het vaak voor dat men onder de drains met een andere doorlatendheid heeft te maken dan daarboven. Onder het vlak van de drains heeft geen structuurvorming plaats gevonden. Daarboven heeft de grond door molgangen, wortelgangen, wormgangen, wortelresten en humus een aparte structuurvorming ondergaan. Bovendien bevindt er zich bij gronden die door de zee zijn gesedimenteerd dikwijls op een diepte van ongeveer 1 m een overgang van kleiige naar zandige sedimenten. Het effect van ploegen is veelal gering, omdat meestal niet dieper dan 20 à 30 cm wordt geploegd.

De vergelijking van Hooghoudt [5-20]
Wanneer de sloten of sleuven niet tot aan de ondoorlatende laag reiken, dan zullen de stroomlijnen niet meer evenwijdig en horizontaal lopen maar convergeren in de richting van de sloot of drain (radiale stroming). In dit geval kan het stromingsbeeld niet meer worden vereenvoudigd tot evenwijdige en horizontale stroomlijnen zonder dat grote fouten worden geïntroduceerd. De radiale stroming veroorzaakt een meer dan evenredig verlies aan drukhoogte. Hooghoudt leidde voor het geval dat een drain ver boven de ondoorlatende laag is gelegen een stromingsvergelijking af waarbij de stro-

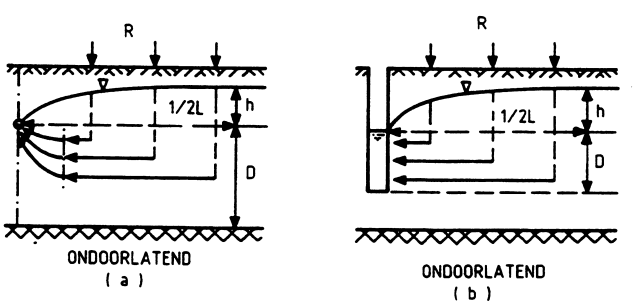


Fig. 5.20. Transformatie van horizontale en radiale stroming naar een equivalente horizontale stroming

ming wordt verdeeld in een deel met horizontale stroming en een deel met radiale stroming (fig. 5.20).

Als de horizontale stroming boven de drains wordt verwaarloosd dan kan de stroming onder het vlak van de drains beschreven worden volgens vergelijking (5.2):

$$q = \frac{8 \cdot K \cdot D \cdot h}{L^2} \quad \text{of} \quad h = \frac{q \cdot L^2}{8 \cdot K \cdot D}$$

Hooghoudt stelde echter: $h = \frac{q \cdot L}{K} F_H$ (5.6)

Waarbij hij de volgende uitdrukking voor F_H vond:

$$F_H = \frac{(L - D\sqrt{2})^2}{8DL} + \frac{1}{\pi} \ln \frac{D}{r_o \sqrt{2}} + f(D, L) \quad (5.7)$$

r_o = straal van de drain.
$f(D, L)$ = een functie van D en L, die in vele gevallen echter klein is in vergelijking met de andere termen van (5.7) en dan ook meestal wordt verwaarloosd. De eerste term van vergelijking (5.7) heeft betrekking op de horizontale stroming, de tweede en de derde term op de radiale stroming. In plaats van met vergelijking (5.6) en (5.7) te werken vond Hooghoudt dat het praktischer zou zijn als dezelfde vorm van vergelijking (5.5) gebruikt zou kunnen worden. Om de extra weerstand ten gevolge van de radiale stroming in rekening te kunnen brengen introduceerde hij een reductie van de diepte D tot een kleinere equivalente diepte d. Anders gezegd: er wordt een hypothetische ondoorlatende laag zodanig boven de werkelijke ondoorlatende laag verondersteld dat het aangenomen stromingsbeeld weer horizontaal is en de radiale weerstand is verrekend (fig. 5.20.b). De equivalente diepte d is evenals F_H een functie van L, D en r_o. Om de radiale stroming in rekening te brengen moet dus bij alle voorgaande vergelijkingen D vervangen worden door d.
Vergelijking (5.5) verandert dan in:

$$q = \frac{8 \cdot K_1 \cdot d \cdot h + 4K_2 \cdot h^2}{L^2} \quad (5.8)$$

Vergelijking (5.8) wordt de vergelijking van Hooghoudt genoemd. De waarden van d voor diverse waarden van r_o en voor verschillende waarden van L en D zijn gegeven in de tabellen 5.6 en 5.7. Voor andere draindiameters kan gebruik worden gemaakt van de tabellen van Hooghoudt [5-20] of de grafieken van Boumans [5-21].

De waarde r_o is bij drains gelijk aan de straal van de drain. Bij waterlopen (sloten, kanalen) kan bij benadering de natte omtrek van de waterloop (u) gelijk worden gesteld

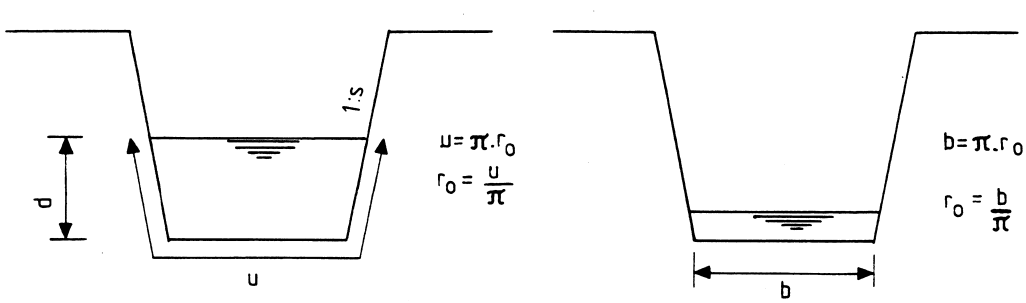


Fig. 5.21. De waarde r_0 voor open watergangen

aan ($\pi \cdot r_o$) (fig. 5.21). Voor een wat bredere watergang geldt $\pi \cdot r_o = b + 2d\sqrt{s^2 + 1}$. In het geval van een praktisch droge greppel kan de breedte van de bodem gelijk worden gesteld aan $\pi \cdot r_o$.

Tabel 5.6. De equivalentdiepte d in meters voor $r_o = 0{,}06$ m [5-20]

L in meters	10	15	20	25	30	35	40	45	50	75	100	200	300
D in meters													
0,50	0,46	0,46	0,48	0,48	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,50	0,50	0,50
0,75	0,64	0,68	0,71	0,72	0,73	0,74	0,74	0,74	0,74	↓	↓	↓	↓
1,00	0,73	0,80	0,85	0,88	0,90	0,91	0,92	0,93	0,93	0,95	0,97	0,97	0,98
1,25	0,80	0,91	0,99	1,03	1,06	1,08	1,09	1,10	1,11	↓	↓	↓	↓
1,50	0,86	1,02	1,11	1,17	1,21	1,25	1,27	1,29	1,31	↓	↓	↓	↓
2,00	0,94	1,15	1,29	1,40	1,47	1,53	1,57	1,61	1,64	↓	↓	↓	↓
2,50	0,98	1,24	1,42	1,56	1,66	1,75	1,83	1,88	1,92	↓	↓	↓	↓
3,00	↓	1,29	1,51	1,68	1,82	1,93	2,02	2,09	2,16	2,39	2,52	2,73	2,82
3,50	↓	1,33	1,57	1,76	1,94	2,07	2,18	2,28	2,37	↓	↓	↓	↓
4,00	↓	↓	1,62	1,84	2,03	2,19	2,32	2,44	2,55	2,88	3,11	3,50	3,65
5,00	↓	↓	1,68	1,94	2,16	2,35	2,52	2,67	2,80	3,29	3,60	4,19	4,43
10,00	↓	↓	↓	↓	↓	↓	2,92	3,18	3,41	4,38	5,10	6,77	7,59
∞	0,99	1,34	1,69	2,01	2,33	2,63	2,93	3,23	3,52	4,92	6,26	11,30	16,00

Tabel 5.7. De equivalentdiepte d in meters voor $r_o = 4{,}50$ m [5-20]

L in meters	75	100	150	200	250	300
D in meters						
0,50	Voor alle afstanden 0,50 ←					
1,00	Voor alle afstanden 1,00 ←					
2,00	Voor alle afstanden 2,00 ←					
10,00	Voor alle afstanden 10,00 ←					
15,00	Voor alle afstanden 15,00 ←					
17,50	16,50	17,20	17,40	17,50	17,50	17,50
20,00	↓	18,40	19,10	19,30	19,50	19,60
25,00	↓	19,80	21,40	22,30	22,80	23,20
30,00	↓	↓	23,20	24,60	25,60	26,30
40,00	↓	↓	24,80	27,80	29,50	31,00
50,00	↓	↓	↓	29,50	31,90	34,20
∞	17,70	20,10	25,00	29,70	34,20	38,60

Voorbeeld

$r_o = 0{,}06$ m
$D = 5{,}50$ m
$q = 0{,}01$ m/etm
$K_1 = K_2 = 1$ m/etm
De draindiepte is 1,80 m beneden maaiveld. De drooglegginsgseis bedraagt 0,90 m. De toelaatbare opbolling mag dus bedragen:
$h = 0{,}90$ m
Uit de vergelijking van Hooghoudt volgt:

$$L^2 = \frac{8 \cdot K_1 \cdot d \cdot h + 4 \cdot K_2 \cdot h^2}{q} \quad \rightarrow L^2 = 720\,d + 324$$

Poging 1
Stel L = 35 m. Uit tabel 5.6 volgt: d = 2,39 m
$L^2 = 720 \cdot 2{,}39 + 324 = 2045 \quad \rightarrow L = 45$ m; niet goed

Poging 2
Stel L = 50 m. Uit tabel 5.6 volgt: d = 2,90 m
$L^2 = 720 \cdot 2{,}90 + 324 = 2412 \quad \rightarrow L = 49$ m
Dit klopt met de aangenomen waarde L = 50 m

Diepe drainage
Bij diepe drainage verandert er uiteraard niets aan de berekeningswijze. Wel moet er rekening mee worden gehouden dat de draindiepte, voorzover die groter is dan de dikte van een opgebracht zandpakket, een te verwaarlozen invloed heeft op de grondwaterstand tussen de drains op momenten dat de drains water afvoeren (fig. 5.22). Er wordt in het algemeen van uit gegaan dat de doorlatendheid van het oorspronkelijke profiel zover terugloopt, dat dit vrijwel niet meer meewerkt als watervoerend pakket tijdens de hoge afvoeren. Dit betekent dat voor de berekening van de drainafstand met behulp van de formule van Hooghoudt de eerste term verwaarloosd mag worden en de drains in het oude maaiveld worden gedacht.

$$L^2 = \frac{4 \cdot K \cdot h^2}{q} \tag{5.3}$$

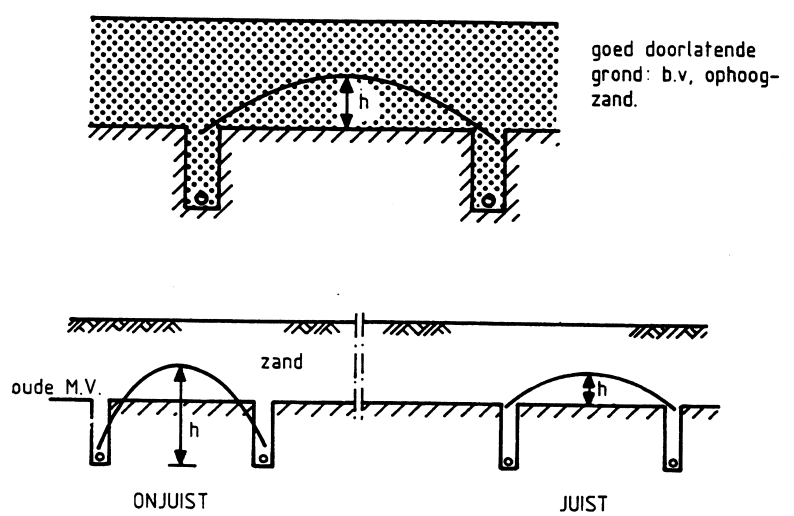


Fig. 5.22. Diepe drainage

Open water als ontwateringsmiddel
Open water als ontwateringsmiddel, zonder verdere aanvullende maatregelen zoals drainage, zal in vele gevallen geen voldoende ontwatering kunnen geven. In het algemeen komt men daarbij tot singelafstanden kleiner dan 50 m. Dat brengt veel grondverlies met zich mee en hoge kosten in verband met bruggen en dergelijke (par. 6.8). Dan wordt nog voorbij gegaan aan het feit dat de bebouwing, die langs de singels zal komen te staan, bij deze singelafstanden de grondwaterafvoer verhindert. Er zal dan toch drainage nodig zijn.

Een combinatie van singels en een zandophoging uit economische overwegingen: òf de grachtafstand wordt te klein òf het zandpakket wordt te dik. In fig. 5.23 is de relatie aangegeven tussen de dikte van het zandpakket en de breedte van de stroken die door een singel kunnen worden ontwaterd.

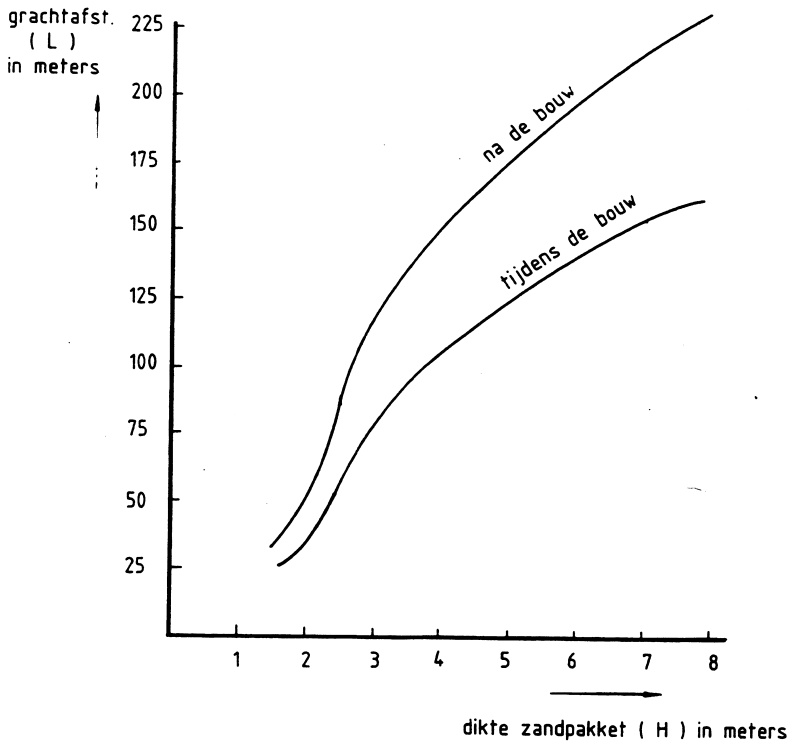


Fig. 5.23. Relatie singelafstand – dikte zandpakket

Aan fig. 5.23 ligt de volgende berekening ten grondslag.
Uitgangspunten zijn:
- drooglegging 0,70 m bij een afvoer tijdens de bouwfase 10 mm/etm en een afvoer tijdens de woonfase 5 mm/etm;
- doorlatendheid zand bedraagt 4 m/etm; doorlatendheid oude maaiveld is zeer klein;
- het grachtpeil is minimaal 1,00 m beneden het maaiveld en de waterdiepte is 1,00 m (fig. 5.24 a).
  Indien het zandpakket dikker wordt, neemt de afstand van grachtpeil tot maaiveld toe, tot maximaal 2,00 m (fig. 5.24 b, c).
  Het profiel van de gracht is aangegeven in fig. 5.24.

Bij de berekening van de grachtafstand bij de situaties a, b en c wordt de formule van Donnan toegepast (vergelijking 5.2). Bij de berekening van de grachtafstand bij een zandpakket dikker dan 3 m wordt de formule van Hooghoudt toegepast (vergelijking 5.8).

Voorbeeld

Donnan $L^2 = \dfrac{8\,KDh + 4\,Kh^2}{q}$

toegepast voor fig. 5.24 b

$L^2 = \dfrac{8 \cdot 4 \cdot 1{,}00 \cdot 0{,}30 + 4 \cdot 4\,(0{,}30)^2}{0{,}01} \rightarrow L = 33\ \text{m}^1$

Hooghoudt $L^2 = \dfrac{8\,Kdh + 4\,Kh^2}{q}$

toegepast voor fig. 5.24 c $D = 2{,}00$ m

$r_o = b + 2d\sqrt{s^2} + 1 \quad \rightarrow r_o = 9{,}25$. Uit tabel 5.7 volgt: $d = D = 2{,}00\,m$

$L^2 = \dfrac{8 \cdot 4 \cdot 2 \cdot 1{,}30 + 4 \cdot 4(1{,}30)^2}{0{,}01} \quad \rightarrow L = 105$ m

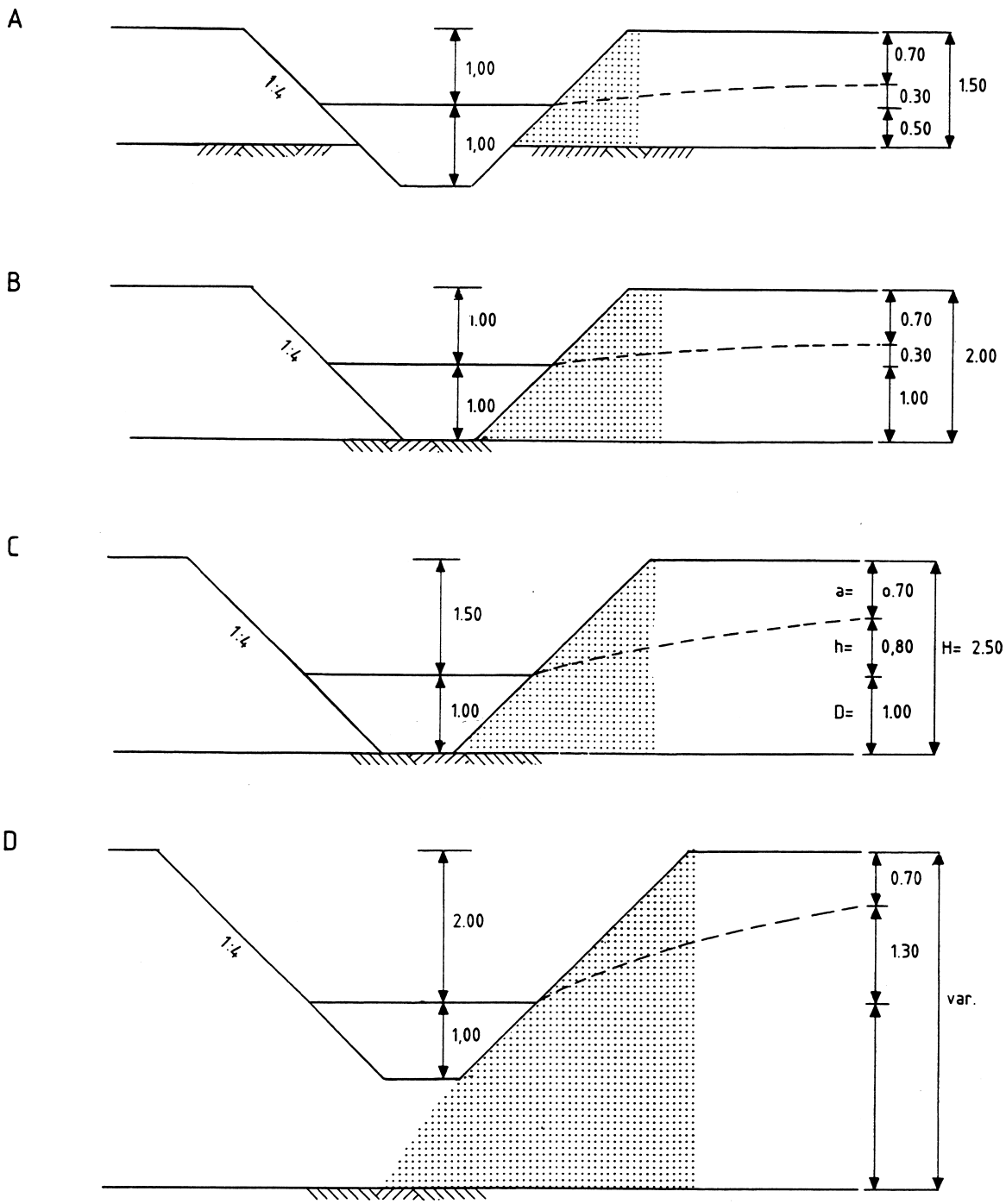


Fig. 5.24. Berekeningsgrondslag van de relatie grachtafstand – dikte zandpakket

Ringdrainage

Indien ringdrainage als ontwateringssysteem wordt toegepast of indien na de bouw een slecht ontwaterd stedelijk gebied – door niet voldoende ontwateren of door verstoring van de drainage tijdens de bouw – alsnog gedraineerd moet worden, dan kan de drainage berekend worden zoals door Reijnders [5-22] is aangegeven. Ter weerszijden van een gebouw (fig. 5.25) – bijvoorbeeld een rij huizen – moet een drainreeks worden aangebracht. Datgene wat bepaald moet worden is in wezen de diepte van de drainreeksen, omdat de beste plaats zo dicht mogelijk tegen de gevel van de huizenrij is.
Hoewel tussen de drains, dus onder het gebouw, geen neerslag valt, zal hier toch een opbolling ontstaan. De draindiepte moet nu berekend worden opdat het grondwater niet tot aan de kruipruimte stijgt. Verantwoordelijk voor deze opbolling onder het gebouw is de radiale weerstand W_r rond de drain (vergelijk Hooghoudt). De grootte van W_r wordt bepaald uit de door Ernst [5-23] afgeleide vergelijking voor de radiale weerstand:

$$W_r = \frac{1}{\pi \cdot K} \ln \frac{D}{\pi \cdot r_o} \tag{5.9}$$

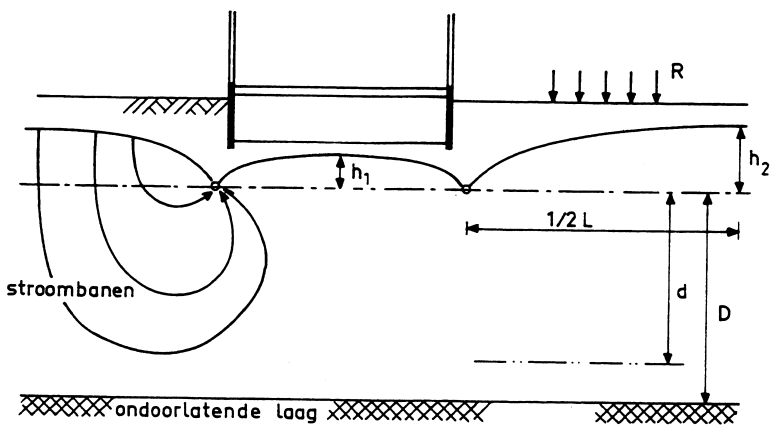


Fig. 5.25. Grondwaterstroming bij een gebouw

De berekening is als volgt:

1. Voor het gedeelte onder het gebouw geldt een radiale toestroming (zie Ernst)

   $h_1 = \frac{1}{2} \cdot L \cdot q \cdot W_r$ (m)

2. Voor het onverharde gedeelte geldt een horizontale en een radiale stroming. De verticale stroming wordt verwaarloosd.

$$h_2 = h_h + h_r = \frac{q \cdot L^2}{8 \Sigma K \cdot D} + \tfrac{1}{2} q \cdot L \cdot W_r$$

$$h_2 = \frac{q \cdot L^2}{8\, K_1 \cdot D + 4\, K_1 \cdot h_2} + \tfrac{1}{2} q \cdot L \cdot W_r$$

Allereerst worden nu een draindiepte en een drainafstand aangenomen. De drainafstand kan de afstand zijn tot een volgend bestaand ontwateringsmiddel, bijvoorbeeld een sloot of drain, of een schatting tot een te ontwerpen ontwateringsmiddel, bijvoorbeel een drain langs de gevel van een volgend bouwblok of in het achterpad tussen twee bouwblokken. Uit de drainafstand, de diepte van de ondoorlatende laag en de diameter van de drain volgt of er een waarde voor de equivalente laag d moet worden ingevoerd (vergelijk de benadering bij Hooghoudt). Vervolgens wordt de drainafstand berekend en deze wordt vergeleken met de aanname. Als deze klopt dan wordt $h_1 = h_r$ berekend. Indien deze voldoet aan de gestelde norm dan is de gekozen draindiepte goed; voldoet

deze niet dan moet de berekening herhaald worden met een nieuwe aanname van de draindiepte.

Voorbeeld ringdrainage
Draindiepte wordt aangenomen 1,30 m beneden maaiveld.
Norm drooglegging tuin 0,30 m $\rightarrow h_2 = 1{,}00$ m.
Norm drooglegging kruipruimte 0,20 m; kruipruimte 0,80 m ÷ m.v. $\rightarrow$
$h_1 = 0{,}30$ m.
D zeer groot $\rightarrow d$ moet worden ingevoerd.
$K = 0{,}50$ m/etm
$r_o = 0{,}06$ m
$q = 10$ mm/etm $= 0{,}01$ m/etm (drainagecriterium)

Stel $L = 35$ m. Uit tabel 5.6 volgt $\rightarrow d = 2{,}63$ m

$$W_r = \frac{1}{\pi \cdot K} \ln \frac{d}{\pi \cdot r_o} \rightarrow W_r = 1{,}67 \text{ etm/m}$$

$$h_2 = \frac{q \cdot L^2}{8Kd + 4kh_2} + \tfrac{1}{2} \cdot q \cdot L \cdot W_r \rightarrow L = 34{,}93 \text{ m schatting klopt!}$$

$$h_1 = \tfrac{1}{2} \cdot q \cdot L \cdot W_r \rightarrow h_1 = 0{,}29 \quad \text{voldoet aan de norm!}$$

Pette en Van Ouwerkerk [5-24] leiden een vergelijkbare formule af voor de berekening van de draindiepte voor ringdrainages, uitgaande van vergelijkbare randvoorwaarden. Daar de berekening gebaseerd is op vele aannamen over de fysische bodemconstante, die in de buurt van bestaande huizen moeilijk is te meten, zal de bepaling van de draindiepte altijd een grove benadering blijven. Bovendien zal deze draindiepte veelal mede worden bepaald door praktische terreinomstandigheden, zoals kabels en leidingen. Een verdergaande verfijning van de formules voor de berekening ervan is dan ook voor het hier bedoelde doel niet nodig.

De vergelijking van De Jager [5-17]
De grondwaterstroming is een niet-stationair proces ten gevolge van de steeds wisselende neerslag en verdamping. Het doel van de studie van De Jager is uit een neerslagpatroon het afvoerverloop van een gebied te kunnen reconstrueren. In Nederlandse stroomgebieden bepaalt de berging in de grond in hoofdzaak de transformatie van neerslag in het afvoerverloop.
Bij toepassing van de stationaire drainagevergelijkingen is in feite niets te zeggen over het werkelijke verloop van de grondwaterstand. Indien men een norm wil gebruiken waarin het werkelijke verloop van de grondwaterstand wordt gebruikt, bijvoorbeeld een drooglegging die x-maal per jaar mag worden onderschreden, dan moet men rekenen met niet-stationaire drainageformules. Daarin moet zowel het verloop van de neerslag zijn verwerkt als de berging in de grond.
Voor de analyse van het neerslag-afvoerproces is de formule van de reservoircoëfficiënt te gebruiken:

$$j = \frac{\mu \cdot L^2}{\pi^2 \cdot K \cdot d} \tag{5.10}$$

j = reservoircoëfficiënt (etm)
μ = bergingsfactor
L = afstand tussen de ontwateringsmiddelen
K = doorlatendheid (m/etm)
d = dikte van de equivalentlaag (m)

Frequentie-diagram voor de afvoer s en de hoogte van de berging midden tussen de drain μy, berekend voor verschillende j-waarden uit de dagsommen van de neerslag te Utrecht in de maanden oktober t.e.m. maart over de jaren 1913 tot 1963.

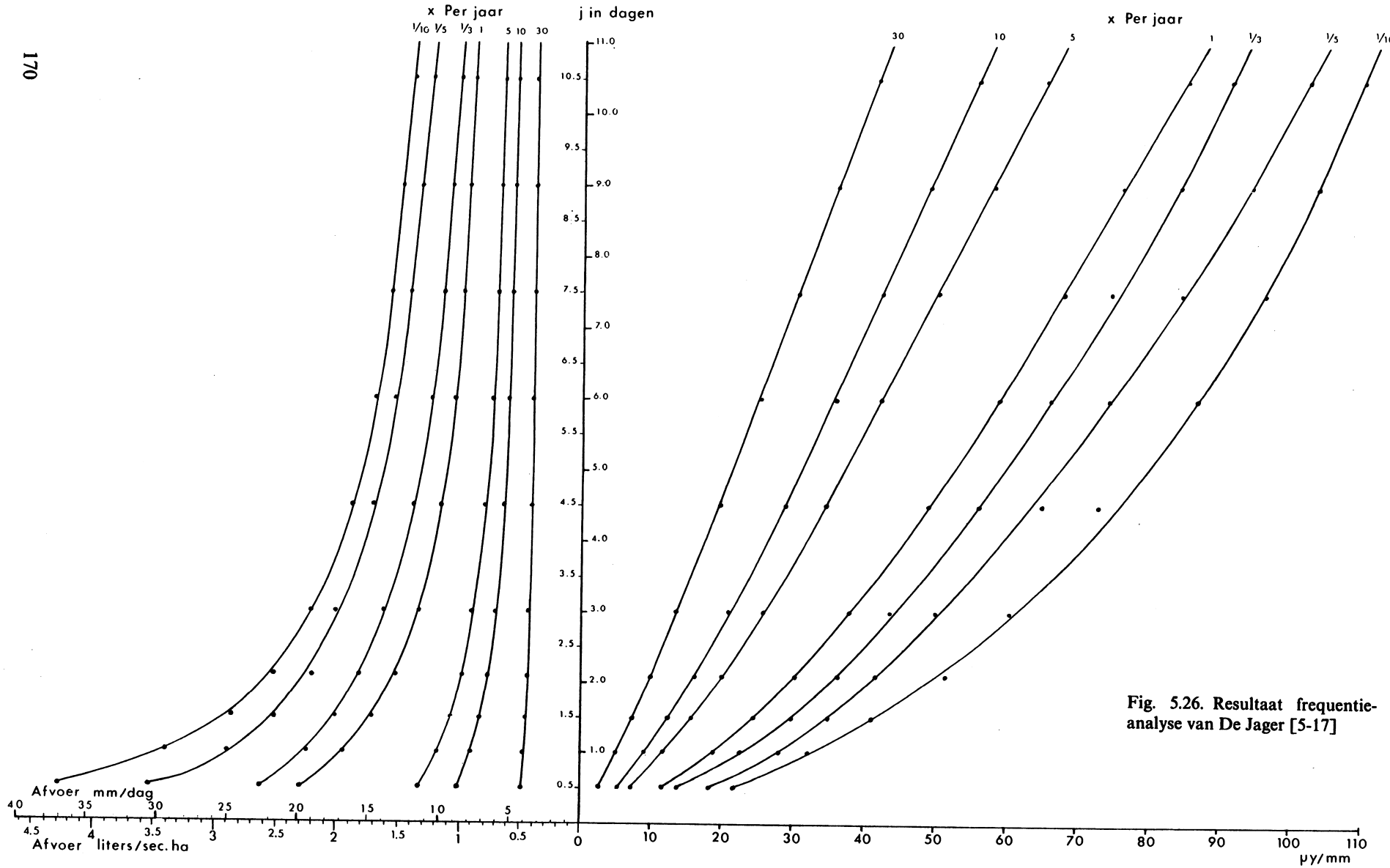


Fig. 5.26. Resultaat frequentie-analyse van De Jager [5-17]

Met behulp van neerslaggegevens en grondwaterstanden is door De Jager een frequentie-analyse uitgevoerd waarvan het resultaat is weergegeven in fig. 5.26. Met deze figuur kan de onderschrijdingsfrequentie van de drooglegging en de overschrijdingsfrequentie van de afvoer eenvoudig worden bepaald als de μ-waarde en de j-waarde bekend zijn.
Een probleem is de bepaling van de μ-waarde. Voor elke grondwaterstandstijging op een bepaalde diepte beneden het maaiveld is de bergingscoëfficiënt te berekenen door de hoeveelheid neerslag die verantwoordelijk is voor de grondwaterstandstijging te delen door de grondwaterstijging (fig. 5.27). Een bruikbare schatting van de μ-waarde kan worden verkregen volgens $\mu = \sqrt{K}$, waarin μ wordt uitgedrukt in volumeprocenten en K in centimeters per etmaal.

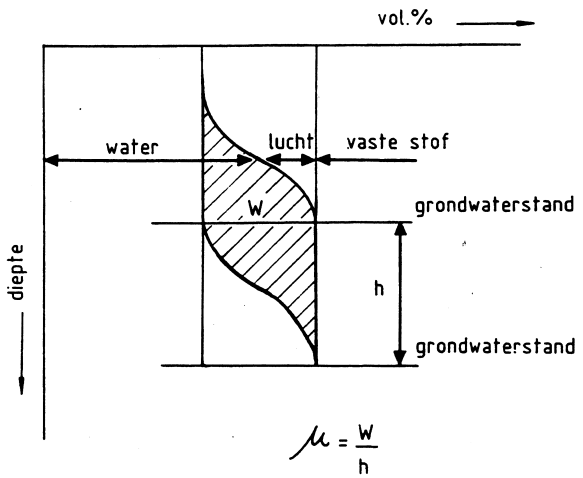


Fig. 5.27. Bergingscoëfficiënt

In uitbreidingsplannen heeft men veelal te maken met hogere j-waarden en tevens met een gedeeltelijk verhard oppervlak. De grafiek van De Jager is dan niet te gebruiken. Fig. 5.28 geeft een modificatie van de grafiek van De Jager voor grotere j-waarden en woongebieden met 40% verhard oppervlak [5-18].

Voorbeeld De Jager/Zeilmaker

Drainagecriterium: een grondwaterstand van 0,80 m onder maaiveld mag éénmaal per jaar worden bereikt of onderschreden.
$K = 1{,}30$ m/etm
D = zeer groot
$b = 1{,}50$ m (draindiepte)
$r_o = 0{,}06$ m
$\mu = \sqrt{K} = 0{,}114$
De drooglegging is 0,80 m, dus de maximale opbolling $ij (= h) = 0{,}70$ m
$\mu \cdot ij = 700 \cdot 0{,}114 = 79{,}8$ mm
Uit fig. 5.28 volgt $j = 22$ etm
De waarde van d wordt gevonden in de tabellen van Hooghoudt (tabel 5.6)
Schat $L = 60$ m ($r_o = 0{,}06$ m, $D = 3{,}00$ m, $L = 60$ m) $\rightarrow d = 2{,}25$

$$L^2 = \frac{j \cdot \pi^2 \cdot kd}{\mu} = \quad \rightarrow L = 62{,}90 \text{ m}$$ aanname L klopt

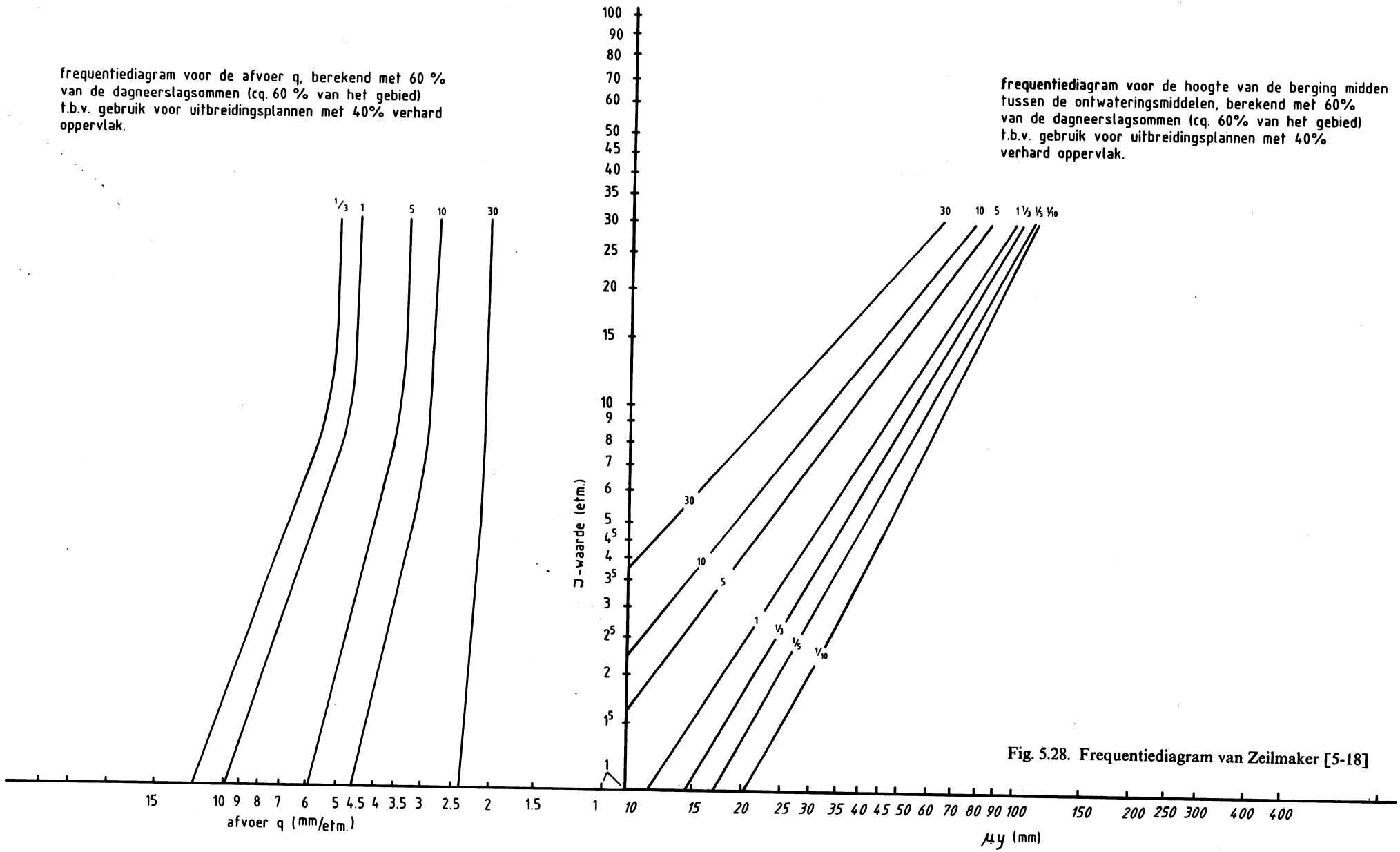


Fig. 5.28. Frequentiediagram van Zeilmaker [5-18]

5.6.3 De draindiepte

In de voorgaande berekeningen is steeds uitgegaan van een bepaalde draindiepte, die samen met de norm voor de drooglegging de toelaatbare opbolling geeft. In feite zijn de drooglegging (normstelling) en de maximale diepte van de drain, bijvoorbeeld de wens om de drains boven grachtpeil te laten uitmonden, veelal gegeven. Binnen de zo gegeven range zijn nog verschillende combinaties van drainafstand en opbolling mogelijk. De vraag welke draindiepte gehanteerd moet worden is niet eenduidig aan te geven. Het is een afwegingsproces in relatie met diverse factoren.

a. De ontwateringsdiepte. Als het peil van het open water eerst wordt bepaald, dan dient de draindiepte daarop te worden afgestemd. Wordt het peil afgestemd op de draindiepte, dan geldt: hoe dieper het peil van het open water hoe groter de toelaatbare opbolling, hoe groter de drainafstand hoe goedkoper. Echter, aan de peilvaststelling en de kosten daarvan zit meer vast dan alleen de draindiepte (par. 6.8).
b. Drainagemachines. Dit behoeft bij de gebruikelijke dieptes nauwelijks een beperkende factor te zijn. Machines zijn ontwikkeld die tot een diepte van 5 meter beneden maaiveld kunnen draineren. Uiteraard speelt hier de beschikbaarheid van de machines een rol.
c. Afhankelijk van het al of niet samengesteld zijn van de drainage. Als de riolering als verzameldrain fungeert is de diepte van het rioolstelsel limiterend voor de draindiepte. Het dieper leggen van de drainage gaat dan gepaard met hoge kosten omdat de gehele riolering dieper gelegd moet worden.
d. Bovengrens. In verband met de vorstgrens is een dekking van 0,70 tot 1,00 m nodig.
e. Tijdstip van draineren en de kans op verstoringen (par. 5.5).

Het zal duidelijk zijn dat diepe ligging van de drainage veelal de voorkeur verdient, zowel uit oogpunt van de ontwatering als van verkleining van de kans op verstoring. De in de praktijk voorkomende draindieptes vertonen een grote verscheidenheid. In par. 5.5 is gebleken dat vooral het voorkómen van verstoringen tijdens de bouw bepalend is voor de draindiepte.

- Na de bouw aangelegde drainages zullen in het algemeen 1,00 m tot 1,20 m, soms tot 1,60 m, onder het maaiveld liggen.
- Vóór de bouw gelegde drainages komen voor op dieptes van:
  1,00 – 1,20 m ÷ m.v. : ondiepe drainage,
  1,80 – 2,20 m ÷ m.v. : diepe drainage,
  tot 4,00 à 5,00 m ÷ m.v. : diepe drainage en bronbemaling.

Dat de keuze niet eenvoudig is blijkt uit het voorbeeld van de ontwikkeling in een gemeente:

- Het niet toepassen van drainage leidde in de eerste nieuwbouwwijken na de Tweede Wereldoorlog tot wateroverlast.
- Het vervolgens toepassen van ondiepe drainage leidde tot veel verstoring tijdens de bouw en daarmee weer tot wateroverlast.
- Het vervolgens toepassen van diepe drainage (2,50 – 3,00 m ÷ m.v.) gecombineerd met langdurige horizontale bronbemaling tijdens de bouw gaf veel verdrogingsverschijnselen bij het te sparen groen.
- In de toekomst zal volgens plan weer alleen met open water worden gewerkt.

Bij de in par. 5.5.6 besproken bouwblokdrainage is naar voren gekomen dat de diepteligging vooral bepaald wordt door het voorkómen van storingen door de aanleg van kabels, leidingen en riolen.

Helling van de drain

Aansluitend op de traditie van de drainage in de landbouw is in de oudere stedelijke gebieden een helling in de drainreeksen aangehouden van 10 tot 30 cm per 100 m[1]. In

stedelijke gebieden kunnen drains beter horizontaal worden gelegd. Als in het drainagesysteem een verstoring optreedt dan kan, als de drainreeksen in twee richtingen kunnen afwateren, de afvoer in de andere, niet gestremde, richting plaatsvinden.

5.6.4 Bepalingen van de buisdiameter

Na het intreden van het water in de drainbuis stroomt het water door de buis naar de sloot of verzameldrain.

Het debiet wordt daarbij steeds groter: de drainbuis is een verzamelleiding. De drukhoogte heeft daarom een verloop zoals aangegeven in fig. 5.29. Door Wesseling e.a. is het verloop van de drukhoogte beschreven [5-25] Nomogrammen zijn ontwikkeld, waarmee bij verschillende hellingen en ontwerpafvoeren de oppervlakten zijn te bepalen die met draineerbuizen van verschillende inwendige diameters kunnen worden ontwaterd [5-26]. Op basis van nieuwe gegevens en een nieuwe analyse van de gegevens die ten grondslag liggen aan de bovengenoemde nomogrammen, hebben Dekker en Ven een gewijzigde formule opgesteld voor de berekening van de afvoercapaciteit van drainbuizen [5-27]. Voor de veel toegepaste ontwerpafvoer van 7 mm/etm geven zij de maximaal te ontwateren oppervlakte voor verschillende draindiameters (tabel 5.8).

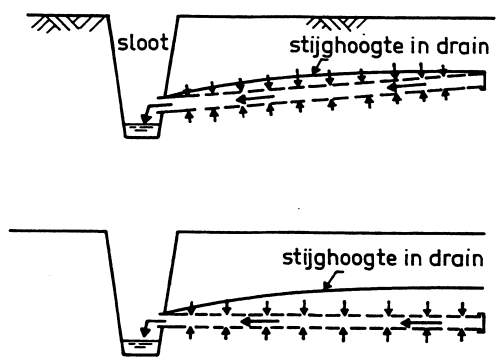


Fig. 5.29. De drain als verzamelleiding

Hierbij wordt rekening gehouden met een reductie van de afvoercapaciteit ten gevolge van vervuiling van de drains bij normaal onderhoud. Voor andere ontwerpafvoeren kan men de maximaal te ontwateren oppervlakte eenvoudig berekenen, omdat de oppervlakte omgekeerd evenredig is met de ontwerpafvoer. Bij een ontwerpafvoer van 5 mm/etm dienen alle oppervlakten met 7/5 te worden vermenigvuldigd.

Bij deze berekeningen wordt meestal uitgegaan van de hydraulische helling van 10 cm per 100 m, ook als de drainreeksen in stedelijke gebieden horizontaal worden gelegd.

Tabel 5.8. Maximaal te ontwateren oppervlakte (in ha) van PVC-ribbelbuizen, bij een ontwerpafvoer van 7 mm/etm en toepassing van een reductie in verband met vervuiling, bij verschillende hydraulische hellingen [5-26]

Draindiameter (mm)	Hydraulische helling *i* in cm per 100 m									
	4	5	6	8	10	15	20	25	30	40
50/44	0,09	0,11	0,12	0,15	0,18	0,23	0,28	0,32	0,36	0,44
60/54	0,20	0,23	0,26	0,31	0,36	0,48	0,58	0,67	0,75	0,91
65/57	0,24	0,28	0,31	0,38	0,44	0,57	0,69	0,81	0,91	1,10
80/72	0,53	0,61	0,69	0,84	0,97	1,27	1,54	1,79	2,02	2,45
100/92	1,19	1,38	1,56	1,88	2,19	2,87	3,47	4,03	4,55	5,51

5.7 Aanleg en onderhoud van drainagesystemen

5.7.1 Aanleg van drainagesystemen

Bij horizontale drainage zal de aanleg in het algemeen zoveel mogelijk plaatsvinden met een draineermachine (fig. 5.30). Deze machines kunnen tot grote diepte de drains in de grond brengen. Momenteel zijn zonder moeilijkheden draindiepten tot 5,00 m mogelijk, mits de ondergrond voldoende stevig is. De ondergrond moet zo stevig zijn dat de gemaakte sleuf niet inzakt en dat een goede sleufvulling mogelijk is.

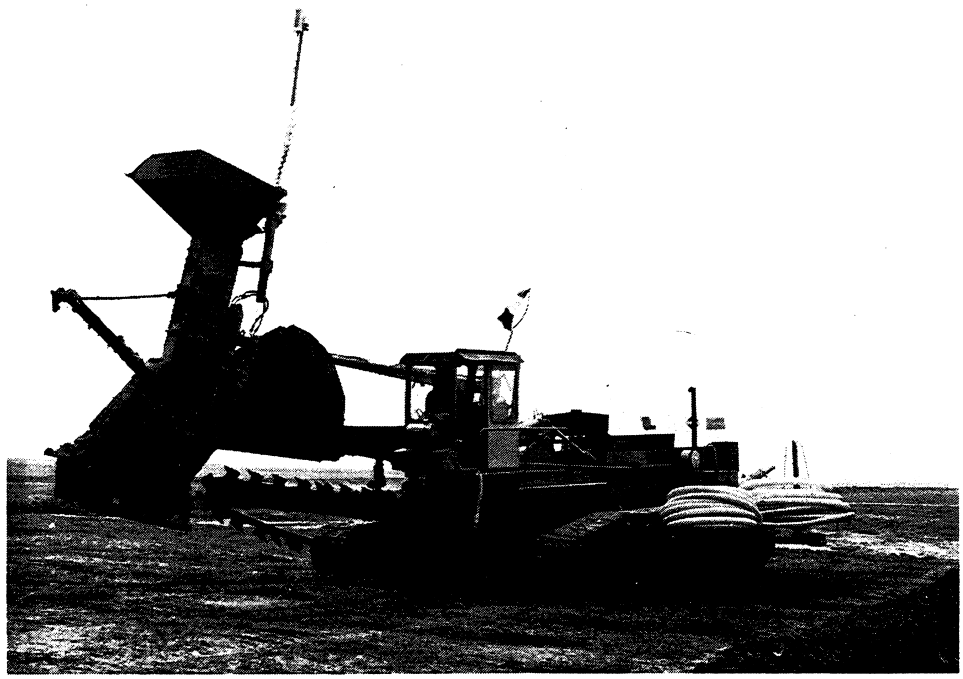


Fig. 5.30. Draineermachine (Foto Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders)

Zodra zich in het bouwterrein kabels of leidingen bevinden is aanleg van drainage met een draineermachine niet meer mogelijk. Gezien de korte lengten en vele drainaansluitingen die hierbij dan nodig zijn vindt uitvoering plaats met behulp van een hydraulische kraan. De zo aangelegde drainage is 4 à 5 maal zo duur als aanleg met een draineermachine. Zoals al is opgemerkt in par. 5.5.6, is de aanleg van een ringdrainage met een kleine draineermachine, voordat de riolering wordt aangelegd, een redelijk alternatief. Bij aanleg met een draineermachine wordt op eenvoudige wijze een nauwkeurige regeling van de aanlegdiepte bereikt door het toepassen van een z.g. laser-plane, een instrument om de diepteligging te regelen. Op deze wijze is een nauwkeurigheid van circa 0,02 m over een afstand van ongeveer 600 m te bereiken. Deze laser-plane kan ook worden toegepast bij de aanleg van drainage met behulp van een hydraulische kraan. Dit geeft een belangrijke besparing op het uitzetten in horizontale richting.

Verticale drainage

Bij de aanleg van zandpalen wordt doorgaans een gat gespoten. Waar dat nodig is wordt een mantelbuis gebruikt. Daarna wordt het gat opgevuld met zand of een ander filtermateriaal. Voor de aanleg van kunststofdrains zijn aparte installaties ontwikkeld, waarbij een injectiebuis wordt gebruikt waarin zich de drain bevindt.
Deze installaties hebben het voordeel dat er geen water hoeft te worden gebruikt.

5.7.2 Drainagemateriaal

Tot ongeveer 1960 werden betonnen en gebakken buizen toegepast. In Nederland werd met name gebruik gemaakt van gebakken buizen, die een grote duurzaamheid bezitten. Tegenwoordig worden in Nederland vrijwel alleen nog maar PVC-ribbelbuizen toegepast. Ze zijn op rollen leverbaar en daardoor gemakkelijk te verwerken. Tijdens de stroming van water naar de drainreeksen treedt drukverlies op tengevolge van weerstand in de bodem. Eén van de weerstandcomponenten is de intreeweerstand van de buis. Bij stroming van water naar de instroomopeningen, die verspreid liggen op de buis, dient extra weerstand te worden overwonnen. Om deze intreeweerstand te verkleinen wordt in veel gevallen op of rond de buizen een goed doorlatend materiaal aangebracht. Dit materiaal vergroot het oppervlak waardoorheen toestroming van het grondwater plaatsvindt. Dit afdekkingsmateriaal kan ook nog andere functies vervullen:

- het materiaal heeft als filter een beschermende functie tegen inspoelen van zand en slib in de buis;
- het materiaal biedt bescherming tegen stuk-gaan van de drainbuizen door in de sleuf vallende stenen of harde kluiten.

De volgende afdekkingsmaterialen worden toegepast en/of zijn beproefd: turfmolm, heide, riet, stro, vlas, houtkrullen, styromull, glasvlies, glaswol, glasvezel, lavaliet, grind, split en grof zand. In stedelijke gebieden kan het best lavaliet, fijn grind, split of cocosomhulling worden toegepast.

5.7.3 Drainage-onderhoud

Uit de diverse ontwateringsonderzoeken die in Lelystad en Almere zijn uitgevoerd, blijkt dat de grondwaterstand na iedere winterperiode minder diep uitzakt dan in het jaar dáárvoor [5-9, 5-12]. Het onderzoek heeft aangetoond dat er ijzerafzettingen en slibresten in het drainagesysteem aanwezig kunnen zijn. Wil een drainagesysteem blijven functioneren, dan is systematisch drainage-onderhoud noodzakelijk.

De drain die uitmondt in een sloot of singel, kan van daaruit over een lengte van ± 200 m worden gereinigd. Bij samengestelde drainagesystemen en cunetdrainage worden zogenaamde doorsteekpunten toegepast, van waaruit de drain kan worden gereinigd (fig. 5.31). Bij samengestelde drainage worden vooral bij kruisingen van hoofddrains en verder op afstanden van maximaal 200 m putten geplaatst om de hoofddrains te kunnen reinigen. Deze putten worden van een kegelstuk met een stalen deksel voorzien en op maaiveld afgewerkt, zodat onderhoud vanuit deze putten kan plaatsvinden. In het verleden werden de doorsteekpunten in het algemeen 0,30 m onder het maaiveld afgewerkt. Ervaring leert dat deze punten vaak niet zijn terug te vinden. Om dit te voorkomen kan het doorsteekpunt tot aan het maaiveld worden opgehaald tijdens de afwerkfase van een woongebied.

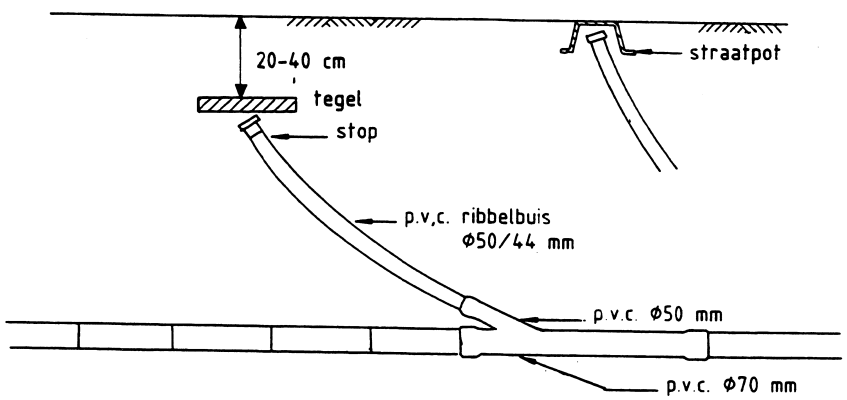


Fig. 5.31. Doorsteekpunt bij samengestelde drainage

Vanuit een drainagedoorsteekpunt kunnen de drains over een lengte van ± 100 m worden gereinigd. Bij verticale drainage is onderhoud niet mogelijk.
Het meest gebruikelijke systeem om drains te reinigen is een op de trekker gemonteerde pomp waaraan een haspel met slang is gemonteerd. Het water wordt via een speciale kop onder druk in de drain gespoten. De druk in de pomp mag niet groter zijn dan 20 atmosfeer, om beschadiging van de drainreeksen te voorkomen. Ervaring leert dat het moeilijk is de drains terug te vinden [5-12]. Om onderhoud mogelijk te maken is het van het grootste belang dat bij de keuze en aanleg van het systeem hiermee rekening wordt gehouden. Ook revisiegegevens moeten nauwkeurig en tijdig worden verwerkt. Onderhoud van de drainage wordt bemoeilijkt als de drains een hoek maken van meer dan 15 graden. Dit is het geval indien er veel verspringingen in de gevellijn voorkomen.

Controle van het drainagesysteem
Een algemene controle kan bestaan uit het visueel beoordelen van de drainafvoeren in een neerslagrijke periode. Een betere aanwijzing over het functioneren krijgt men door regelmatig het grondwaterpeil te meten op variabele afstand tot de drains en het verloop daarvan onder invloed van de neerslag vast te stellen. Te hoge grondwaterstanden gedurende langere tijd duiden op het niet goed functioneren van de ontwatering, hetgeen onder andere het gevolg kan zijn van vervuiling van de drains. Verder kunnen verstoringen van de drains aanleiding geven tot te hoge grondwaterstanden.

Frequentie van onderhoud
De frequentie waarmee drainage-onderhoud moet plaatsvinden is afhankelijk van de mate van vervuiling, doch ook van het gebruik van het gedraineerde terrein. Indien de bouw van een woonwijk is voltooid en de neerslag van de verharding voor een belangrijk deel via het rioleringsstelsel wordt afgevoerd, zal slechts een deel van de neerslag door de drainage tot afvoer komen. Ook neemt het waterbergend vermogen van de grond in de loop van de tijd toe onder invloed van de begroeiing. Een en ander heeft tot gevolg dat in de loop van de tijd minder water door de drains moet worden afgevoerd. Anderzijds kan ook een zekere daling van het maaiveld optreden, maar dat is, op korte termijn gezien, doorgaans niet van invloed op het grondwaterpeil. Door afzetting van ijzerverbindingen in de drain, of in het bedekkingsmateriaal, kan echter het functioneren van de drainage worden belemmerd. Zoals opgemerkt is regelmatig onderhoud noodzakelijk. Indien geen kwel of ijzerverbindingen de drainage beïnvloeden, kan een reiniging van de drains eens per 5 jaren als voldoende worden beschouwd. Indien ijzerverbindingen een snellere vervuiling tot gevolg hebben, dan moet de drainage vaker worden gereinigd, 1 × per 2 à 3 jaar.

De drainagestelsels van sportterreinen dienen jaarlijks te worden gereinigd. Het opnieuw draineren van een sportterrein maakt een totaal nieuwe aanleg van het veld nodig en is daardoor kostbaar.
Voor recreatieterreinen kunnen geen eenduidige regels worden gesteld. De mate van onderhoud hangt af van de aard, inrichting en gebruik van het terrein. De drainage van een visplaats zal minder frequent behoeven te worden gereinigd dan de drainage van een speelterrein bij een spartelvijver, waar hogere eisen aan de drooglegging worden gesteld. Afhankelijk van het gebruik van het terrein, kan men de onderhoudsnoodzaak stellen op 1 tot 5 jaar. De drainage van begraafplaatsen tenslotte, dient jaarlijks te worden gereinigd. In de eerste plaats omdat onder alle omstandigheden zonder moeilijkheden een graf moet kunnen worden gedolven. In de tweede plaats omdat herstel of opnieuw draineren van begraafplaatsen kostbaar is en soms vrijwel onmogelijk.
In tabel 5.9 zijn de onderhoudsfrequenties weergegeven.

Tabel 5.9. Richtlijnen voor onderhoud van drainage [5-10]

Gebieden	Frequentie van onderhoud
Woongebieden	1 × per 2 à 3 jaar (1)
Begraafplaatsen	1 × per jaar
Sportvelden	1 × per jaar
Recreatieterreinen	1 × per 1 à 5 jaar (2)

(1) afhankelijk van de hydrologische situatie
(2) afhankelijk van de bestemming van het terrein

Uiteraard heeft het strikt toepassen van een onderhoudssysteem financiële consequenties. Ervaringscijfers van systematisch onderhoud van stedelijke gebiedsdrainage ontbreken echter geheel. Tabel 5.10 geeft de normkosten die in Lelystad voor de begroting van het onderhoud worden gehanteerd. De kosten van onderhoud zijn gedetailleerder te berekenen uit de capaciteit van de reinigingsmethode en de loon- en materiaalkosten. De kosten per hectare zijn dan afhankelijk van de totale lengte van de drainage (tabel 5.11).

Tabel 5.10. Onderhoudskosten; normen in guldens per hectare (prijspeil 1980) [5-12]

Hoofddrainage van een wijk	400,–
Hoofd- en detailontwatering van een wijk	2000,–

Tabel 5.11. Onderhoudskosten in guldens per hectare per jaar, voor verschillende drainagesystemen bij verschillende frequenties van onderhoud. Kostengegevens uit diverse bronnen (prijspeil 1981)

		1 × per 2 jaar		1 × per 5 jaar	
		f 1,00/m^1	f 2,00/m^1	f 1,00/m^1	f 2,00/m^1
samengestelde drainage	700 m^1/ha	350,–	700,–	140,–	280,–
ringdrainage	800 m^1/ha	400,–	800,–	160,–	320,–
samengestelde drainage + ringdrainage	1500 m^1/ha	750,–	1500,–	300,–	600,–

5.8. Samenvatting

Voor de beheersing van de grondwaterstand zijn veelal ontwateringsmaatregelen op bouwterreinen nodig. In veel Nederlandse omstandigheden moeten daarvoor drainagesystemen worden toegepast. Dit hoofdstuk gaat in op de verschillende begrippen en functies van ontwateringssystemen. Vervolgens worden de grondwaterstromingen beschreven die met ontwatering gepaard gaan. De verschillende onderdelen van een stedelijk gebied stellen eigen eisen aan de grondwaterstanden. Deze zogenaamde drooglegginsgeseisen worden beschreven, uitmondend in ontwateringsnormen voor bouwterreinen en bebouwde terreinen. De laatste jaren zijn verschillende drainagesystemen ontwikkeld voor toepassing in stedelijke gebieden. Deze systemen, met vóór- en nadelen, worden uitgebreid beschreven. Verschillende rekenmethoden worden behandeld voor de berekening van de afstanden tussen de drainreeksen.
Tenslotte wordt ingegaan op de draindiepte, de helling van de drains, de diameter van de drainbuizen en de aanleg en het onderhoud van de drainagesystemen in stedelijke gebieden.

6 Afwatering

6.1 Inleiding

In hoofdstuk 3 is het onderwerp waterhuishouding en verstedelijking ingeleid. In hoofdstuk 5 is de afvoer van de neerslag die op het onverharde gebied valt behandeld. De afvoer van het drainagesysteem en van het rioleringssysteem loost op de open watergangen (singels, grachten, vijvers). Vanuit dit open watersysteem wordt het teveel aan water afgevoerd naar buiten het stedelijke gebied. Dit kan rechtstreeks naar het buitenwater (een rivier of de zee) worden afgevoerd, maar ook eerst door een boezem- of bekensysteem (hoofdstuk 3.3). Het open water in het stedelijk gebied vervult de volgende functies:

- esthetische en ruimte-structurerende functie,
- recreatieve functie,
- transportfunctie,
- afscheidingsfunctie,
- afvoer- en bergingsfunctie.

Uit deze verschillende functies komen verschillende eisen naar voren, met betrekking tot het oppervlakte aan open water, het singelpeil, de singelafstand, de stroomsnelheid, de peilstijging, de waterkwaliteit en de vormgeving.
Om tot een zo goed mogelijk ontwerp van het waterbeheersingssysteem te komen is het nodig al deze aspecten in een zo vroeg mogelijk stadium van de planvorming in onderlinge samenhang te bestuderen. Het minimaal ontwerp van het open watersysteem moet gebaseerd zijn op de afvoer- en bergingsfunctie en op de waterkwaliteit: aan de eisen die vanuit deze functies worden gesteld moet ten allen tijde worden voldaan. Uitgaande van dit minimaal ontwerp kan voor de overige functies het ontwerp verder worden uitgewerkt.

6.2 Factoren uit de waterbalans

6.2.1 Neerslag en afvoer

De overtollige neerslag op het stedelijk gebied moet worden afgevoerd. Bij verstedelijking worden verharde oppervlakken en buizenstelsels geïntroduceerd; daardoor vindt de afvoer versneld plaats. Als door de plaatselijke omstandigheden de grotere piekafvoer niet door het ontvangende oppervlakte-water kan worden afgevoerd, dan moet het water tijdelijk worden geborgen binnen of direct buiten het stedelijk gebied. In fig. 6.1 is schematisch een voorstelling gegeven van het stedelijk waterbeheersingssysteem (zie ook fig. 3.3). De elementen uit fig. 6.1 worden achtereenvolgens besproken. De neerslag is besproken in par. 3.2.

De afvoer van de neerslag van het verharde oppervlak

Zoals in par. 3.2.6 is aangegeven is de afvoer vanaf het verharde oppervlak geringer dan de neerslaghoeveelheid, omdat verliezen optreden. Ook is het patroon van de afvoer vervormd en vertraagd ten opzichte van het neerslagpatroon, voordat het water het open water bereikt.

De verliezen die op het verharde oppervlakte optreden bestaan uit:
- bevochtigingsverliezen,
- berging in laagten,
- infiltratie,
- verdamping.

In de ontwerppraktijk worden de totale verliezen veelal benaderd door een reductiefactor. Deze reductiefactor kan op twee manieren worden ingevoerd:
- een vaste waarde die als 'berging op straat' (C) wordt aangeduid. Vaak gehanteerd wordt $C = 0$, $C = 1$, $C = 3$ mm waterschijf over het verharde oppervlak [6-1];
- een deel van de gevallen hoeveelheid neerslag als afvloeiingscoëfficiënt (α). Veelal wordt een waarde gekozen tussen 0,8 en 1,0.

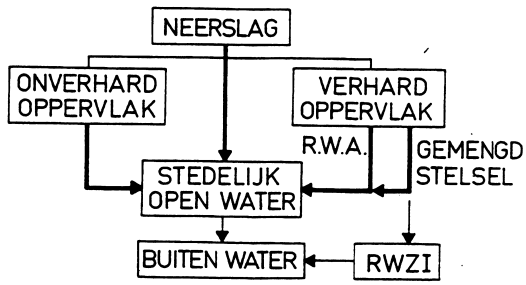


Fig. 6.1. Schema van het neerslag-afvoersysteem van het stedelijk gebied

Er bestaan diverse systemen ten aanzien van het gebruik van afvloeiingscoëfficiënten. Bij één van de systemen is de dichtheid van de bebouwing het indelingscriterium (tabel 6.1). Het probleem hierbij is dat de zo geformuleerde aard van de bebouwing niet duidelijk is.

Tabel 6.1. Afvloeiingscoëfficiënten met dichtheid van bebouwing als indelingscriterium [6-2]

Aard van de bebouwing	Afvloeiingscoëfficiënten, gerekend ten opzichte van het totale gebied
zeer dicht	0,7–0,9
gesloten	0,5–0,7
open	0,3–0,5
buitenwijken met veel tuinen	0,2–0,5
onbebouwd (sportterreinen)	0,1–0,2
parken	0,0–0,1

Een meer gedetailleerde benadering werkt met een specificatie van de aard van de verharding en de helling van de verharding (tabel 6.2).
Van de Berg geeft als resultaat van metingen van afvloeiingscoëfficiënten voor afvoeren groter dan 2 mm een gemiddelde waarde van 0,63 over het verharde oppervlak [6-3]. In fig. 6.2 zijn gegevens verwerkt ten aanzien van de relatieve frequentie van afvloeiingscoëfficiënten zoals die gemeten zijn in het Stedelijk Wateronderzoek in Lelystad. Onderzoek met betrekking tot de infiltratie laat zien dat een aanzienlijk deel van de neerslag op het verharde gebied niet via de oppervlakte tot afvoer komt (tabel 3.1 en par. 5.2).

Tabel 6.2. Afvloeiingscoëfficiënten met aard en helling van de verharding als indelingscriterium; hoeveelheid water in mm die niet wordt afgevoerd [6-2]

Aard verharding \ Helling wegdek	0,01	0,05	0,09
klein plaveisel	0,90	0,45	0,41
ruw cement beton	0,74	0,55	0,55
asfalt met split	0,68	0,50	0,50
middel-ruw cement-beton	0,43	0,35	0,35
glas-asfalt	0,32	0,19	0,18

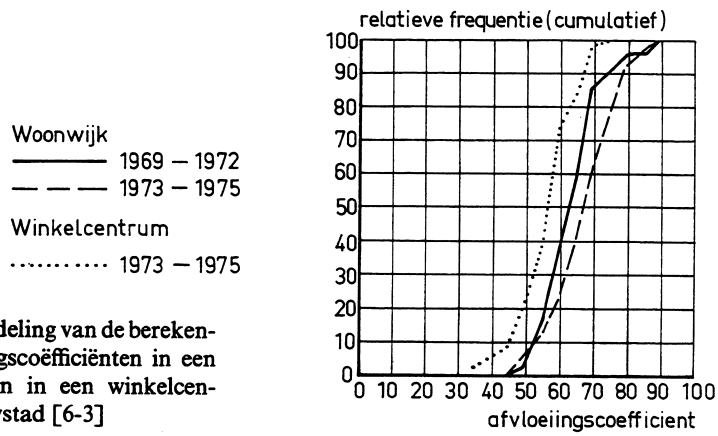


Fig. 6.2. Verdeling van de berekende afvloeiingscoëfficiënten in een woonwijk en in een winkelcentrum in Lelystad [6-3]

In de U.S.A. wordt wel de Curve Number-methode van de Soil Conservation Service gebruikt [6-4]. De directe oppervlakte-afvoer Q wordt bepaald volgens:

$$Q = \frac{P - 0{,}2\,S^1}{P + 0{,}8\,S^1} \qquad \text{voor } P > 0{,}2\,S^1$$

$$Q = 0 \qquad \text{voor } P < 0{,}2\,S^1$$

P = neerslag in mm

S^1 = totaal aan verliezen door infiltratie, evapotranspiratie en berging in mm

Hierbij geldt:

$$S^1 = \frac{25400}{CN} - 254$$

De waarde van CN (= het Curve Number) wordt bepaald door een typologie van bodemtypen, grondgebruik en bodemvochttoestand vóór de neerslag. De waarden voor CN zijn in tabellen weergegeven. Stel dat in een gebied met een weinig doorlatende oppervlakte $CN = 95$. Het maximum aan verliezen bedraagt dan $S^1 = 13{,}4$ mm. Indien er nu in 15 minuten $P = 10$ mm neerslag valt, dan komt er geen neerslag tot afvoer. Indien er in de daarop volgende 15 minuten $P = 8$ mm neerslag valt, dan komt er $Q = 10 - 13{,}4 + 8 = 4{,}6$ mm tot afvoer. De neerslag in de daarop volgende periode komt dan geheel tot afvoer.

Vertraging en vervorming van de afvoer ten opzichte van de neerslag ontstaat als gevolg van de stroming over het verharde oppervlak en door het rioolstelsel (fig. 6.3). Bij het gescheiden stelsel ligt de vertraging in de orde van grootte van vijf tot vijftien minuten.

Al het water dat in het riool komt zal bij dit stelsel ook worden afgevoerd.
Bij het gemengde stelsel ligt dat anders (par. 6.5).
Bij een gelimiteerde afvoer uit het stedelijk gebied, waarbij het open water als berging functioneert, zal de vertraging in het riool gering zijn ten opzichte van de maatgevende periode waarmee de berging wordt berekend. In het algemeen kan de vertraging dan buiten beschouwing blijven. Dit gaat in mindere mate op voor langgerekte of hellende stroomgebieden, hoewel ook daar de vertraging in het riool gering is ten opzichte van de maatgevende periode.

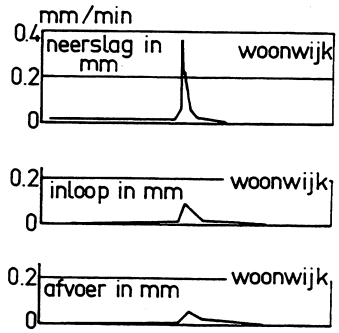


Fig. 6.3. Pluviogram van 19 oktober 1970 en het inloop- en het afvoerhydrogram van twee meetgebieden in Lelystad; een woonwijk en een parkeerplaats [6-5]

Eén van de belangrijke parameters in de berekening van de hoeveelheden water die naar het open water worden afgevoerd, is de hoeveelheid verhard oppervlak. Soms is ook de drainage van het onverhard oppervlak op het riool aangesloten; er zijn waterschappen waar dat niet is toegestaan.
Het is moeilijk exacte cijfers ten aanzien van de verharding te geven. Uit de verschillende onderzoeken komen nogal uiteenlopende cijfers naar voren.
De Commissie Riolering geeft als conclusies en opmerkingen onder andere [6-2]:

1. De gevonden waarden voor het percentage verhard oppervlak ten opzichte van het totale oppervlak vertonen grote spreiding.
2. Bij kernen van kleine steden en uitbreidingen daarvan met etagebouw ligt dit percentage rond de 30%.
3. Bij dorpskernen en dorpsuitbreidingen ligt dit percentage rond 20 à 25%.
4. Het aantal m^2 verhard oppervlak per inwoner loopt in de onderzochte gevallen zeer uiteen: van 20 tot 60 m^2/inwoner.
5. Een duidelijk verband tussen het percentage verhard oppervlak, respectievelijk het aantal m^2 per inwoner, en het aantal inwoners per hectare kan niet worden aangetoond.
6. De tendens bestaat dat het verhard oppervlak in de loop van de tijd ten opzichte van het oorspronkelijke plan groter wordt.

Van Dijk vond bij twaalf grote uitbreidingsplannen dat voor het ontwerp van het open water uitgegaan wordt van 40 tot 50% verharding over het totale plangebied[6-6]. De verharding in m^2 per inwoner en m^2 per woning loopt ook hier sterk uiteen, respectievelijk 50–350 en 20–140. Een probleem hierbij is de definiëring van de omvang van het totale gebied. Hengeveld vond de gegevens zoals weergegeven in fig. 6.4.
Oppervlakte-analyses van recente plannen met hogere bruto dichtheden van 35 tot 55 woningen per hectare geven een verhardingspercentage van 45% tot 50%. De verharding is dus inclusief de woningen.

De afvoer van de neerslag van het onverharde oppervlak
De verandering van het patroon van de neerslag door verliezen en vervorming geldt wel zeer sterk voor het onverharde oppervlak. In de winter is de grondwaterstand hoog en bevindt het vochtgehalte zich op veldcapaciteit: de neerslag zal dan afvoer tot gevolg

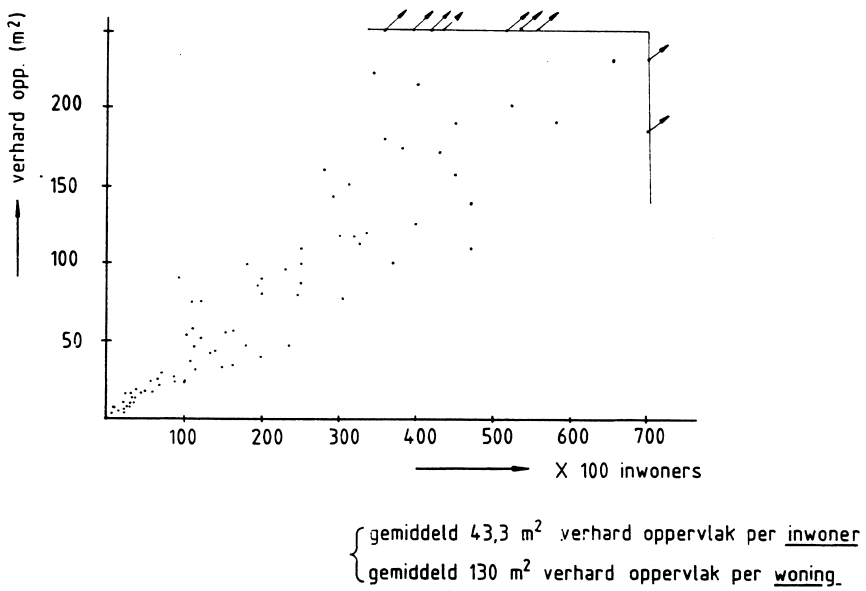


Fig. 6.4. Relatie verharding – aantal inwoners [6-7]

hebben. In de zomer is de grondwaterstand laag en het bodemvochtgehalte is lager dan de veldcapaciteit. De berging is dan in de onverzadigde zone erg groot (hoofdstuk 7). Het kan voorkomen dat een flinke bui zelfs geen afvoer geeft. In de ontwerppraktijk omzeilt men de complexe neerslag-afvoerrelatie door ontwerpnormen te hanteren. De maatgevende afvoer voor vlakke landelijke gebieden ligt in de orde van grootte van 0,045–0,200 m^3/s per km^2 (4–17 mm/etm) [6-8]. Voor polders hanteert men vaak 0,12–0,17 m^3/s per km^2 (10–15 mm/etm). Van Dijk vond dat in de diverse waterbeheersingsplannen sterk uiteenlopende waarden worden gehanteerd bij de berekeningen: 0,06–0,25 m^3/s per km^2 [6-6].

Neerslag direct op het open water
Uiteraard is de waterbelasting op het open water gelijk aan de neerslag. Hierbij wordt nogmaals gewezen op de betekenis van de regenduurlijn (par. 3.2.2).

6.2.2 Afvoer naar buiten het stedelijk gebied
In hoofdlijn zijn de volgende relaties met het buitenwater in vlak Nederland te onderscheiden (fig. 6.5) [6-7]:

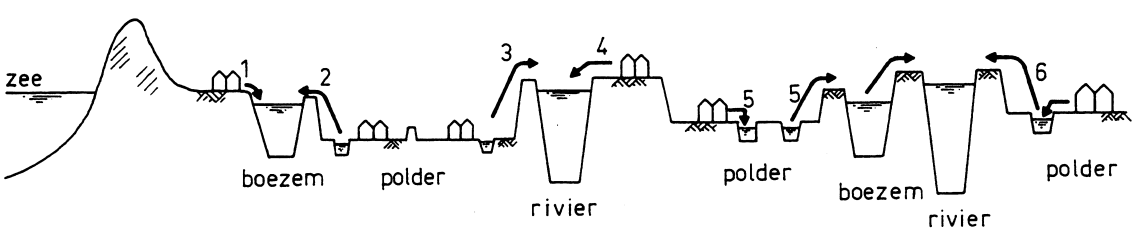


Fig. 6.5. Afvoerrelaties van het stedelijk gebied met het buitenwater in West-Nederland [6-7]

1. Het stedelijk gebied loost vrij op de boezem
Het stadswater is onderdeel van het boezemwater. Deze situatie komt in West-Nederland in ongeveer 30% van het stedelijk oppervlak voor. Kwantitatief is de afvoer vanuit het stedelijk gebied op de boezem onbeheersbaar. De piekbelasting op de boezem is te compenseren door extra boezemoppervlak aan te leggen. De kwalitatieve belasting wordt door de beheerder beïnvloed door eisen met betrekking tot de stelsel-

keuze en door nadere eisen aan het gekozen stelsel, zoals eisen aan de overstortfrequentie of eventueel de eis tot aanleg van bergbezinkbassins.

2. Het stedelijk gebied maalt rechtstreeks op de boezem
Het stadswater is polderwater; het stedelijk gebied is een zelfstandige polder. Deze situatie komt in West-Nederland in ongeveer 15% van het stedelijk oppervlak voor. Kwantitatief is de afvoer vanuit het stedelijk gebied beheersbaar. De boezembeheerder kan beperkingen opleggen aan de omvang van de afvoer indien de situatie van de boezem dat vereist. Zo eist het Hoogheemraadschap van de Uitwaterende Sluizen van Kennemerland en West-Friesland dat de maximale afvoer beperkt blijft tot 0,167 m^3/s per km^2 (= 10 m^3 per 100 hectare per minuut = 14,4 mm/etm). Dit komt overeen met de agrarische afvoer. Kwantitatief is de situatie vergelijkbaar met geval 1.

3. Het stedelijk gebied maalt rechtstreeks op het buitenwater (rivieren, zee)
Het stadswater is polderwater, het stedelijk gebied is een zelfstandige polder. Deze situatie komt in West-Nederland in ongeveer 20% van het stedelijk oppervlak voor. Kwantitatief is het niet nodig beperkingen aan de omvang van de afvoer op te leggen. Het gemaal kan in principe zo groot zijn als technisch en economisch verantwoord is. Kwalitatief is de situatie vergelijkbaar met geval 1.

4. Het stedelijk gebied loost vrij op het buitenwater (rivieren)
Deze situatie komt slechts zeer beperkt voor langs de grote rivieren. Kwantitatief worden geen beperkingen aan de omvang opgelegd. Kwalitatief is de situatie vergelijkbaar met geval 1.

5. Het stedelijk gebied loost op een polder; de polder maalt op de boezem

5a. Vrije lozing op polderwater
Het stadswater is polderwater, onderdeel van een groter poldergebied. Deze situatie komt niet veel voor. De afvoer vindt vaak plaats via een stuw. De beheerder van het polderwater kan de extra belasting op het polderwater compenseren door eisen te stellen aan de oppervlakte van het in de stad aan te leggen open water. De waterlopen in het aangrenzende landelijk gebied moeten eventueel verruimd worden om de piekbelasting te verwerken.

5b. Beheerste lozing op polderwater
Het stadswater is polderwater, het stedelijk gebied is een zelfstandige polder. Deze situatie komt in ongeveer 30% van het stedelijk oppervlak voor. De beheerder van het polderwater zal veelal eisen stellen aan de omvang van de afvoer uit het stedelijk gebied. Beperkingen komen voor tot de omvang van de agrarische afvoer: 0,12–0,17 m^3/s per km^2 (10–15 mm/etm). Naast beperkingen ten aanzien van de piekafvoer komen ook beperkingen voor ten aanzien van de maximale jaarafvoer, bijvoorbeeld 400 mm/jaar.

6. Het stedelijk gebied loost vrij of beheerst op polderwater; de polder maalt op buitenwater
In West-Nederland komt dit alleen in IJsselmonde voor. Deze situatie is als in geval 5 beschreven. De gemaalcapaciteit is vaak beperkt in verband met de geringe afvoercapaciteit van de watergangen binnen de polder en in verband met de beperkte capaciteit van de bestaande poldergemalen.

Voor de *hellende gebieden* is een dergelijke eenduidige indeling minder eenvoudig te maken. Het betreft daar in het algemeen lozing op beken of kanalen met sterk variërende afvoercapaciteiten. Afhankelijk van de capaciteit zal al of niet een gelimi-

teerde lozing vanuit het stedelijk gebied plaatsvinden. De daarvoor benodigde berging zal of in het rioolstelsel, of in open water, of in beide worden gerealiseerd. Steeds vaker wordt ook in hellend Nederland de bergingsbenadering met vijvers toegepast.

De besproken indeling van de afwateringswijzen is vooral gebaseerd op het beheersen van de piekafvoer uit het stedelijk gebied. Er is echter ook een minimaal noodzakelijke afvoer. Deze minimale afvoer is nodig om de berging weer snel genoeg beschikbaar te krijgen voor de opvang van volgende buien. Bij het rioleringsontwerp is dit een gangbare praktijk; daarbij wordt de ledigingssnelheid vooral bepaald door het voorkomen van stank. Bij het ontwerp van het open water wordt wel gesteld dat na 3 dagen de berging weer beschikbaar moet zijn. Van den Berg schrijft dat volgens de literatuur de ledigingstijd van bergingsbekkens niet groter mag zijn dan 5 à 8 uur [6-5].
Voor het polderdeel van Nederland wordt de loskoppeling van stedelijk en landelijk gebied ook wel uitgevoerd vanwege het feit dat de peilfluctuaties in de landbouwpolder groter kunnen zijn dan in het stedelijk gebied aanvaardbaar wordt geacht. Ook is de waterkwaliteit van het landelijk gebied wel slechter dan men in het stedelijk gebied acceptabel vindt.

6.2.3 Afvoerkunstwerken
Het teveel aan water kan met verschillende afvoerkunstwerken naar buiten het stedelijk gebied worden afgevoerd.

Is het peil in het stedelijk gebied hoger dan het ontvangende water, dan kan vrije afwatering via een *stuw* plaatsvinden. De capaciteit van de stuw dient zodanig ontworpen te worden dat bij de maatgevende neerslag de afvoer zodanig is, dat de maximaal toelaatbare peilstijging niet wordt overschreden. De maximum afvoer treedt op tijdens het bereiken van het hoogste waterpeil.
Voor de afvoer geldt:

$$Q = m \cdot B \cdot H^{3/2} \tag{6.1}$$

Q = afvoer in m^3/s
m = afvoerfactor voor de overlaat $m^{\frac{1}{2}}/s$
B = breedte van de overlaat in m
H = hoogte van het waterpeil van het stadswater ten opzichte van de kruin van de overlaat in m

Deze afvoerformule betekent dat er, totdat het maximale waterpeil is bereikt, minder wordt afgevoerd dan toelaatbaar is (fig. 6.6), met als gevolg dat een groter oppervlak open water nodig is om het waterbezwaar te bergen dan in verband met de beperking van de afvoer nodig is (par. 6.6). Een gunstiger afvoerverloop geeft een opening onder water (fig. 6.6 en 6.7). Om onder normale omstandigheden het vijverpeil in de stad bij een opening onder water te kunnen handhaven moet men een speciale constructie aanbrengen (fig. 6.7).
Dan geldt:

$$Q = m \cdot A \cdot H^{1/2} \tag{6.2}$$

A = oppervlak doorstroomopening in m^2
m = afvoerfactor voor de doorstroomopening $m^{\frac{1}{2}}/s$
H = hoogte van het waterpeil boven het buitenwater

Ook als het peil in het stedelijk gebied gelijk is aan dat in het ontvangende water wordt er in verband met de beheersbaarheid soms een stuw toegepast.

Is het peil in het stedelijk gebied lager dan van het ontvangende water, dan zal het gebied *bemalen* moeten worden. Een gemaal heeft een constante afvoer (fig. 6.6), indien de invloed van de peilvariatie op de pompcapaciteit buiten beschouwing wordt gelaten. Bij toepassing van een gemaal zal men echter rekening moeten houden met het moment van inwerking-treden. Bij een automatisch gemaal zal dit meestal geschieden nadat een bepaalde peilstijging is opgetreden. Hierdoor neemt de hoeveelheid te bergen water toe.

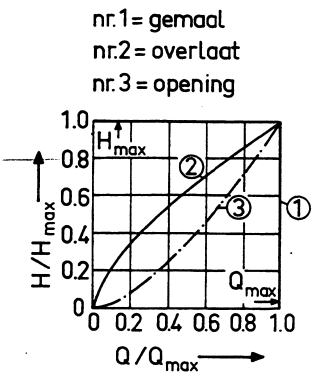


Fig. 6.6. Relatie tussen de maximale afvoer en de maximale peilstijging bij diverse afvoerwijzen:
nr. 1 gemaal;
nr. 2 overlaat;
nr. 3 opening onder water.

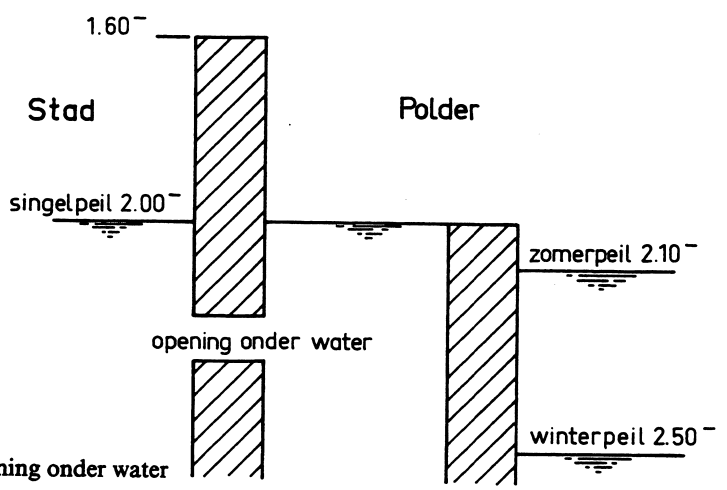


Fig. 6.7. Stuw met opening onder water

6.3 Waterhuishoudkundige eisen te stellen aan het open water

Waterhuishoudkundige eisen die aan het open water gesteld worden zijn eisen ten aanzien van het peil en peiloverschrijdingen, het oppervlak en de ligging, de stroomsnelheid en de afvoer van het water naar het omringende landelijke gebied.
Het peil van het open water wordt door een aantal factoren bepaald. Indien in het stedelijk gebied uitsluitend op of boven het maaiveld wordt gebouwd en aan de afvoer vanuit het stedelijk gebied geen beperkingen worden opgelegd, dan is een peil van 1,20 à 1,30 m ÷ m.v. in de regel voldoende. Bij het ontwerpen van nieuwe delen van stedelijke gebieden kan het om een aantal redenen de voorkeur verdienen om bepaalde verkeersaders, bijvoorbeeld de hoofdwegen, verdiept aan te leggen. Men heeft dan de mogelijkheid om, hetzij een dieper grachtpeil te kiezen, hetzij plaatselijk onder te bemalen (par. 6.8).
Indien ten gevolge van de afvoerbeperking berging in de stad moet worden gecreëerd, dan kan dit gebeuren door het kiezen van òf een dieper grachtpeil met daarbij een grotere toelaatbare peilstijging, òf een groter grachtoppervlak.

De uit waterhuishoudkundig oogpunt noodzakelijke oppervlakte open water in stedelijke gebieden wordt hoofdzakelijk bepaald door een viertal factoren, te weten:
- type rioleringsstelsel,
- wijze en omvang van de afvoer uit het stedelijke gebied,
- de toelaatbare peilstijging in het stedelijke gebied,
- de gewenste waterkwaliteit.

Bij de berekening van het oppervlakte open water worden doorgaans drie eisen ten aanzien van de peilstijgingen in beschouwing genomen. Het open water wordt ontworpen op een peiloverschrijding van 0,20 tot 0,50 m met een frequentie van 1 × per 5 of 10 jaar. Daarnaast worden veelal twee controleberekeningen uitgevoerd: één voor een extreme situatie van 1 × per 50 à 100 jaar en één voor vaker voorkomende situaties van 1 × per 1 à 2 jaar. De laatste berekening wordt uitgevoerd om vast te stellen welke peilfluctuaties regelmatig ter plaatse van de boordvoorzieningen voorkomen, dit in verband met vervuiling van de taluds en onderhoud aan de boordvoorzieningen.
Bij het vaststellen van de toelaatbare stroomsnelheden wordt onderscheid gemaakt tussen toelaatbare stroomsnelheden in de gracht en ter plaatse van de kunstwerken. In de grachten wordt bij de frequentie van 1 × per 5 à 10 jaar en afhankelijk van de grondsoort uitgegaan van een stroomsnelheid van ongeveer 0,25 m/s. Ter plaatse van de kunstwerken is 1 m/s toelaatbaar.

Voor de kwaliteit van water geeft het Indicatief Meerjaren Programma (IMP) aan dat voor stadswateren zoals grachten, singels en siervijvers primair geldt dat hinder en gevaar voor de mens afwezig moet zijn [6-9]. Minstens even zwaar weegt ook het esthetisch aspect. De basiskwaliteit zoals geformuleerd in het IMP biedt hiertoe de garanties (tabel 6.3). In een aantal gevallen of voor delen van het stadswater, is het gewenst om de normen voor zwemwater toe te passen. Voor recreatiewateren zullen vanzelfsprekend de eisen voor zwemwater gelden. Wateren die ten behoeve van de sportvisserij worden beheerd moeten aan de normen voor viswater voldoen [6-9].

Tabel 6.3. Enkele normen met betrekking tot de basiskwaliteit van water [6-9]

Parameter		Basiskwaliteit	
Temperatuur	°C	< 25	(absoluut)
Doorzicht	(m)	> 0,5 m	(gemiddeld)
Zuurstofgehalte	(mg O_2/l)	> 5	(absoluut)
Chlorophyl-a	(µg/l)	< 100	(gemiddeld)
Totaal fosfaat	(mg P/l)	< 0,2	(gemiddeld)
Totaal stikstof (Kjeldahl–N + nitraat N)	(mg N/l)	< 2	
Nitraat + nitriet	(mg N/l)	< 10	(absoluut)
BZV_5^{20}	(mg O_2/l)	< 5	(gemiddeld)
Ammonium + ammoniak	(mg N/l)	< 1	(gemiddeld)

6.4 De afvoer- en bergingsberekening: de modelkeuze

Bij het ontwerpen van het open water in de stad zal men doorgaans inzicht willen hebben in het watersysteem als geheel, alsmede in de situatie op enkele specifieke punten. Afhankelijk van de omvang van de stadswijk en de zich plaatselijk voordoende problematiek, zal moeten worden gekozen voor een meer of minder uitgebreid rekenmodel om de gewenste berekeningen te kunnen uitvoeren.

Zoals eerder aangegeven hebben berekeningen betreffende het open water in het stedelijke gebied betrekking op de volgende aspecten:
- peilstijgingen en berging,
- stroomsnelheden en afvoeren,
- afmetingen van kunstwerken.

Modellen waarmee uitsluitend peilstijgingen kunnen worden berekend zijn de zogenaamde 'bakmodellen', die werken met het principe van de continuïteitsvergelijking. Een overzicht van een aantal modellen waarmee zowel peilstijgingen als stroomsnelheden in het waterlopenstelsel berekend kunnen worden is gegeven in tabel 6.4.
Om tot een verantwoorde keuze van een model te komen zijn een aantal factoren van belang [6-10]:
- aard en omvang van het probleem,
- beschikbaarheid van de gegevens,
- beschikbare faciliteiten,
- te verwachten wijzigingen in het waterbeheersingssysteem ten gevolge van toekomstige ingrepen,
- mogelijkheden voor aanvullend onderzoek,
- overdraagbaarheid.

De aard en omvang van het probleem zal vanzelfsprekend één van de belangrijkste factoren zijn die de modelkeuze bepalen. Hierbij kan onderscheid gemaakt worden in een tweetal hoofdgroepen:
- men is uitsluitend geïnteresseerd in de te verwachten peilstijgingen;
- men is zowel geïnteresseerd in de peilstijgingen als in de stroomsnelheden.

Veelal zijn de afmetingen van stadsgrachten of bergingsvijvers zodanig ruim ten opzichte van de afmetingen van de lozingsmiddelen, dat de stroomsnelheden en de

Tabel 6.4. Overzicht van modellen voor de berekening van waterlopenstelsels (aangepast naar [6-11])

Benaming Programma	Naam Instantie	Toepassing		Rekenwijze		Toegankelijkheid		
		Dimensionering	Controlerend	Stationair	Niet-stationair	Handleiding aanwezig	Programma vrij ter beschikking	Onderhoud en ondersteuning gebruikers
Verhanglijn	Grontmij	–	+	+	–	+	–	–
Cherie	TH-Delft	–	+	–	+	+	–	–
Flows	TH-Delft/W.L.	–	+	+	+	+	–	–
Hydra	Heidemij	–	+	+	+	+	–	–
Knota 6	RIJP	–	+	–	+	+	–	–
Nash	RIJP	–	+	–	+	–	–	–
Nipest	Grontmij	–	+	+	+	+	–	–
T.H.T. Sims	TH-Twente	–	+	–	+	+	+	–
Waber	Hasko	–	+	–	+	+	–	–
Resro	Hasko	–	+	+	–	+	–	–
Diwa	Landinrichtingsdienst	–	+	+	–	+	+	+
Visser-Bloemen	I.C.W.	–	+	–	+	–	–	–
Knota-Variant	TAUW-Infra consult	–	+	–	+	+	–	–
SOPWA	D.H.V.	–	+	–	+	+	–	–
Ribasi	D.H.V.	–	+	–	+	+	–	–

verhangen in de stadsgrachten zelden kritisch in het ontwerp zullen zijn. Daar kan worden volstaan het open water als een bak te beschouwen en op grond van de afvoerformules van het lozingskunstwerk het peilverloop te berekenen. Dit geldt vooral in situaties dat het stedelijk gebied als zelfstandige polder bemalen wordt (par. 6.2.2). Dienen naast peilfluctuaties bovendien de stroomsnelheden op verschillende punten in het systeem te worden bepaald, dan zal het gehele waterlopenstelsel moeten worden doorgerekend. Dan wordt gewerkt met één dimensionale niet-stationaire stroming.
De beschikbaarheid van gegevens kan van invloed zijn op de modelkeuze. De beschikbare faciliteiten en financiën kunnen er toe leiden dat voor het ontwerp volstaan moet worden met het toepassen van enkel eenvoudige formules en globale berekeningen. Goede berekeningen zullen zichzelf echter snel betalen omdat daarmee een 'zuiniger' ontwerp is te onderbouwen. Bij de keuze van het model moet er ook rekening mee worden gehouden dat gedurende de voorbereidingsfase van de stadswijk plotselinge wijzigingen in de plannen kunnen optreden. Deze moeten snel en eenvoudig in het model verwerkt kunnen worden. Ook wijzigingen ten aanzien van de voorwaarden waaraan de lozingen vanuit de stad moeten voldoen, moeten snel kunnen worden verwerkt.
Soms zal er behoefte bestaan om aanvullend onderzoek te verrichten ten einde verzekerd te zijn van de juistheid van de uitkomsten van de modelberekeningen. Het al of niet aanwezig zijn van deze mogelijkheden kan van invloed zijn op de modelkeuze.

6.5 Rioleringssysteem

6.5.1 Inleiding

Zoals in par. 3.2.2 en 6.2 reeds is beschreven komt de neerslag die op verharde oppervlakken in het stedelijk gebied valt voor een deel via rioolstelsels tot afvoer. Het rioleringssysteem dient ook voor de afvoer van huishoudelijk en industrieel afvalwater. In dit boek wordt de riolering behandeld voor zover het in relatie staat met het oppervlaktewatersysteem.
Voor een uitgebreide behandeling van rioleringsstelsels wordt verwezen naar betreffende vakliteratuur [6-12].

Een rioleringssysteem bestaat uit de volgende onderdelen (fig. 6.8):

a. Het inzamelsysteem

Het inzamelsysteem bestaat uit een stelsel van buizen dat tot doel heeft afvalwater en afstromend regenwater op te vangen en af te voeren. Men kan de volgende rioolstelsels onderscheiden:
1. het gemengde stelsel,
2. het gescheiden stelsel,
3. diverse verbeterde versies van de onder 1 en 2 genoemde stelsels.

b. Het transportsysteem

Het transportsysteem begint bij de rioolgemalen en eindigt bij het ontvangwerk van rioolwaterzuiveringsinstallatie of, bij ontbreken daarvan, bij het lozingspunt in het oppervlaktewater. Dit systeem valt verder buiten de orde van dit boek.

c. De rioolwaterzuiveringsinstallatie

Het via het transportsysteem aangevoerde water wordt in de rioolwaterzuiveringsinstallatie gezuiverd. De lozing van het gezuiverde water vindt plaats op het oppervlaktewater (boezem, rivieren, meren). De rioolwaterzuiveringsinstallatie valt verder buiten de orde van dit boek.

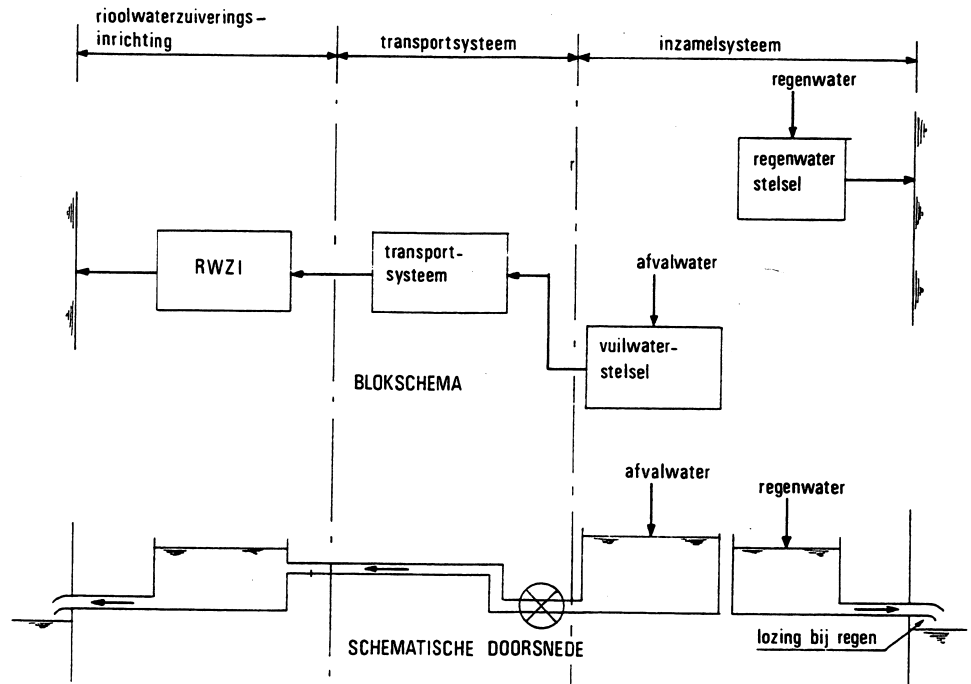
Rioolstelsels (fig. 6.8)

1. Het gemengde stelsel

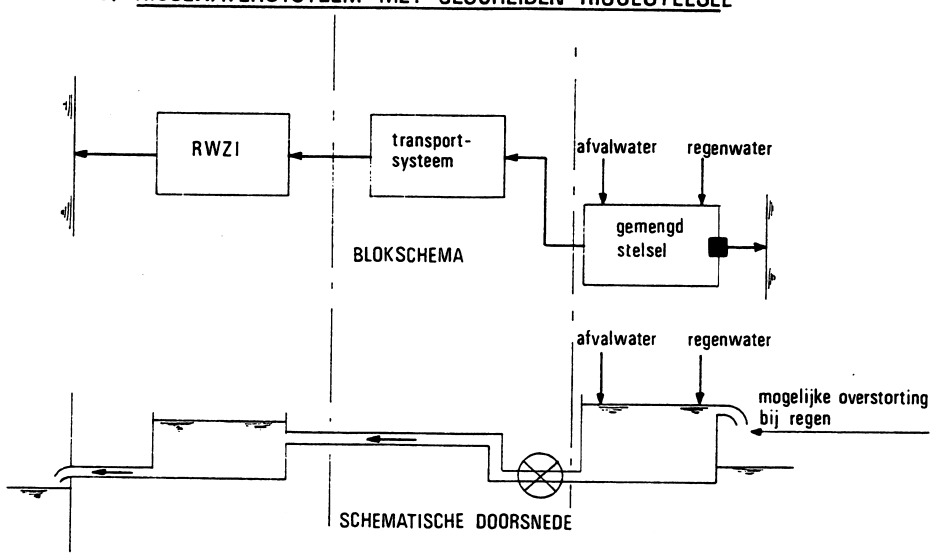
Indien door een rioolstelsel het huishoudelijk en industrieel afvalwater en het regenwater gezamenlijk in één buizenstelsel wordt afgevoerd spreekt men van een gemengd of gecombineerd stelsel.

2. Het gescheiden stelsel

Indien huishoudelijk en industrieel afvalwater door een daarvoor bestemd buizennet wordt afgevoerd (vuilwaterriolen) en het regenwater gescheiden daarvan door een ander buizennet wordt afgevoerd (regenwaterriolen), dan spreekt men van een gescheiden stelsel.



a. RIOOLWATERSYSTEEM MET GESCHEIDEN RIOOLSTELSEL



b. RIOOLWATERSYSTEEM MET GEMENGD RIOOLSTELSEL

⊗ rioolgemaal
ontvangend water
overstortput

Fig. 6.8. Overzicht rioleringssystemen

Bij het *gemengde stelsel* wordt het buizenstelsel veelal bemalen door een rioolgemaal. De capaciteit van het gemaal is berekend op de afvoer van de afvalwaterproduktie (droogweerafvoer = d.w.a.) én op de afvoer van een zekere hoeveelheid neerslag (pompovercapaciteit = p.o.k.). De hoeveelheid af te voeren regenwater wordt beperkt omdat het oneconomisch zou zijn de af en toe optredende grote hoeveelheden neerslag via het rioolgemaal te transporteren en te zuiveren. De bedrijfsvoering van de rioolwaterzuiveringsinstallatie zou dan gecompliceerd worden door de sterk variërende hoeveelheid en hoedanigheid van het rioolwater. Het zuiveringsrendement loopt dan sterk terug. De capaciteit van het rioolgemaal varieert van 1 tot 5 d.w.a., hetgeen een p.o.k. = 0 tot 4 d.w.a. inhoudt. Men zal de grotere hoeveelheid neerslag opvangen door een hoeveelheid berging in of aansluitend aan het riool aan te brengen (fig. 6.8.b). Omdat het ook niet economisch is de berging zo groot te maken dat de 'grootste' hoeveelheid neerslag hierin geborgen wordt, worden rioleringsoverstorten aangebracht. Via de overstorten wordt een mengsel van afvalwater, opgewoeld rioolslib en neerslag naar het oppervlaktewater geloosd. Aan het aantal overstorten per jaar, (de overstortfrequentie = o.f.), worden beperkingen gesteld.

Bij het *gescheiden stelsel* wordt het vuilwaterriool bemalen door het rioolgemaal. De dimensionering van de vuilwaterriolen is gebaseerd op het gemiddelde van de afvalwaterproduktie over de uren met een maximale produktie van de gemiddelde dag. Deze hoeveelheid wordt droogweerafvoer (d.w.a.) genoemd. Het andere buizenstelsel dient voor de inzameling en afvoer van regenwater. Het regenwater wordt geloosd op het meest dichtbij gelegen open water.

Beide stelsels lozen dus op het open water. Bij het gemengde stelsel zal echter alleen bij grote neerslag via de rioleringsoverstorten verdund afvalwater en opgewoeld slib naar het open water stromen. Dit gebeurt een aantal malen per jaar. In Nederland wordt bij het ontwerp uitgegaan van 3 tot 10 overstorten per jaar. Men kan indicatief stellen dat 10% van de neerslag via overstorten op het open water komt [6-13].
Bij het gescheiden stelsel komt al de afstromende neerslag op het open water terecht. Veldkamp stelt dat er bij een gescheiden rioolstelsel gemiddeld 100 lozingen per jaar plaatsvinden, indien aangenomen wordt dat alleen neerslag waarbij meer dan 2 mm regen valt een afstroming veroorzaakt [6-13].

6.5.2 Dimensionering van het rioleringsstelsel

Bij de dimensionering van het rioleringsstelsel wordt uitgegaan van een ontwerpregen (par. 3.2.2). Met een bepaalde frequentie zal men een overbelasting van het stelsel accepteren. Deze overbelasting veroorzaakt wateroverlast in de vorm van 'water op straat'. Dit duurt slechts kort, het op straat geborgen water wordt bij weer afnemende regenintensiteit door het rioolstelsel afgevoerd. De ontwerpregenintensiteit is dus afhankelijk van de frequentie en tijdsduur waarmee 'water op straat' wordt geaccepteerd. In fig. 6.9 zijn regenduurlijnen weergegeven. Door deze regenduurlijnen als werkelijke buien te beschouwen kan men een indruk krijgen van de frequentie en duur van water op straat. De figuur betreft een rioleringsstelsel met 7 mm berging waarbij de rioolbuizen ontworpen zijn met een capaciteit van 7 $m^3/s \cdot km^2$ (70 l(s · ha)). In werkelijkheid zal door verlies en vertraging de inloop in het riool minder extreem zijn dan met de regenduurlijn wordt aangegeven (par. 6.2.1). In het Stedelijk Wateronderzoek in Lelystad zijn rioolinloopduurlijnen bepaald [6-14]. Met behulp van de inloopduurlijnen is de schijnbare inundatieduur als functie van de ontwerpafvoer en de herhalingstijd weergegeven (fig. 6.10). Boven een ontwerpintensiteit van 40 l/(s · ha) daalt de schijnbare inundatieduur slechts langzaam. Van de Ven concludeert dat het gerechtvaardigd lijkt om in Flevoland een ontwerpintensiteit van 40 à 50 l(s · ha) te gebruiken voor regenwaterriolen op parkeerplaatsen, industrieterreinen en in woonwijken. Rond-

om winkelcentra en andere druk bezochte plaatsen is een norm van 60 l/(s·ha) voldoende.

Voor de berekening van het gemengde stelsel worden een aantal vereenvoudigingen ingevoerd. De overstortfrequentie wordt berekend door schematisatie van het rioolstelsel tot bakmodel met behulp van de 'Kuipergrafiek' (fig. 6.11). In deze stippengrafiek wordt de berging weergegeven door een horizontale lijn (lijn a, fig. 6.11). De pompovercapaciteit wordt weergegeven door een hellende lijn (lijn b, fig. 6.11). De buien gelegen boven lijn b geven overstortingen. De theoretische overstortfrequentie is te berekenen door het aantal stippen (buien) te tellen en te delen door het aantal jaren

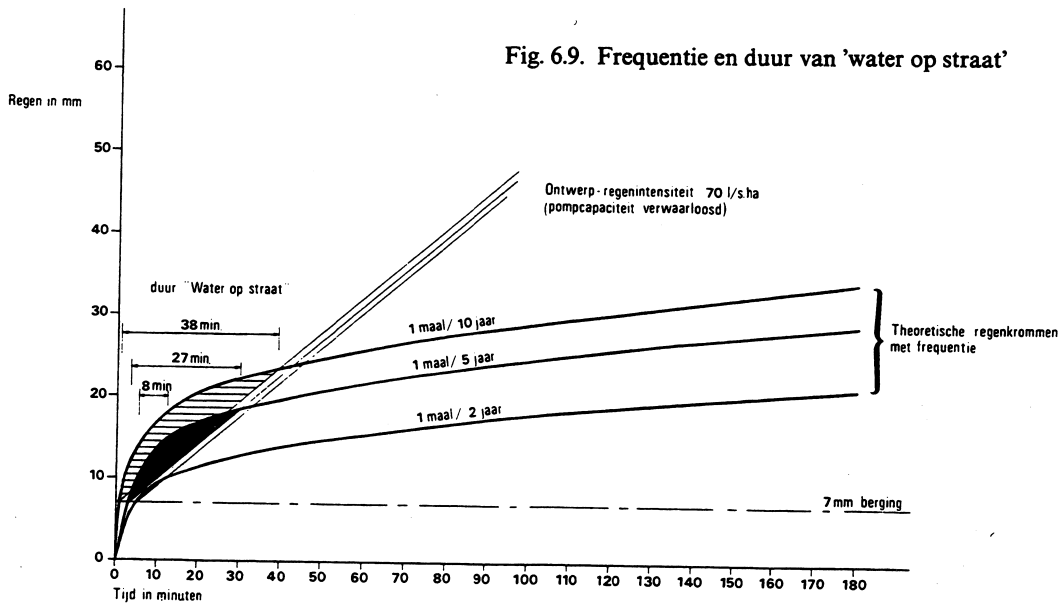


Fig. 6.9. Frequentie en duur van 'water op straat'

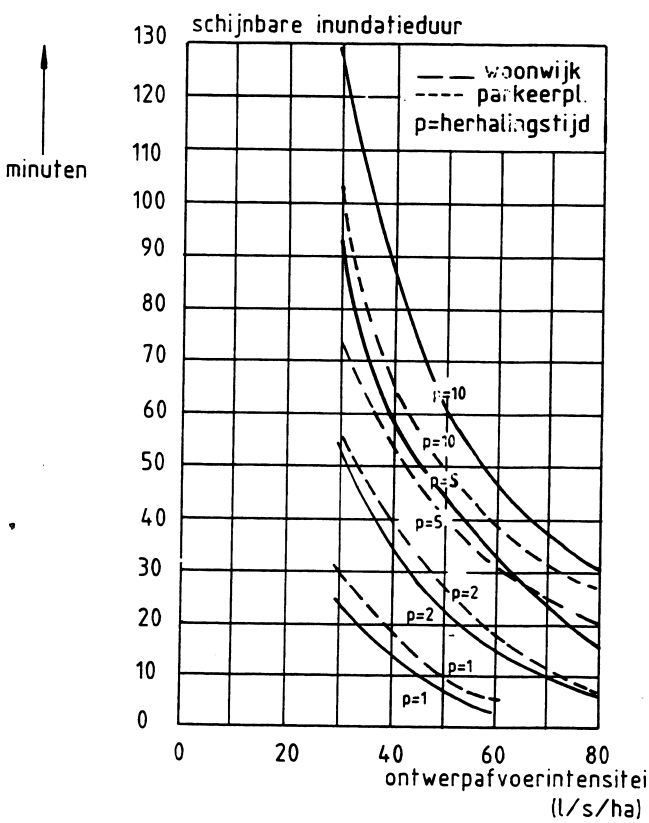


Fig. 6.10. De schijnbare inundatieduur als functie van de afvoerintensiteit en de herhalingstijd [6-14]

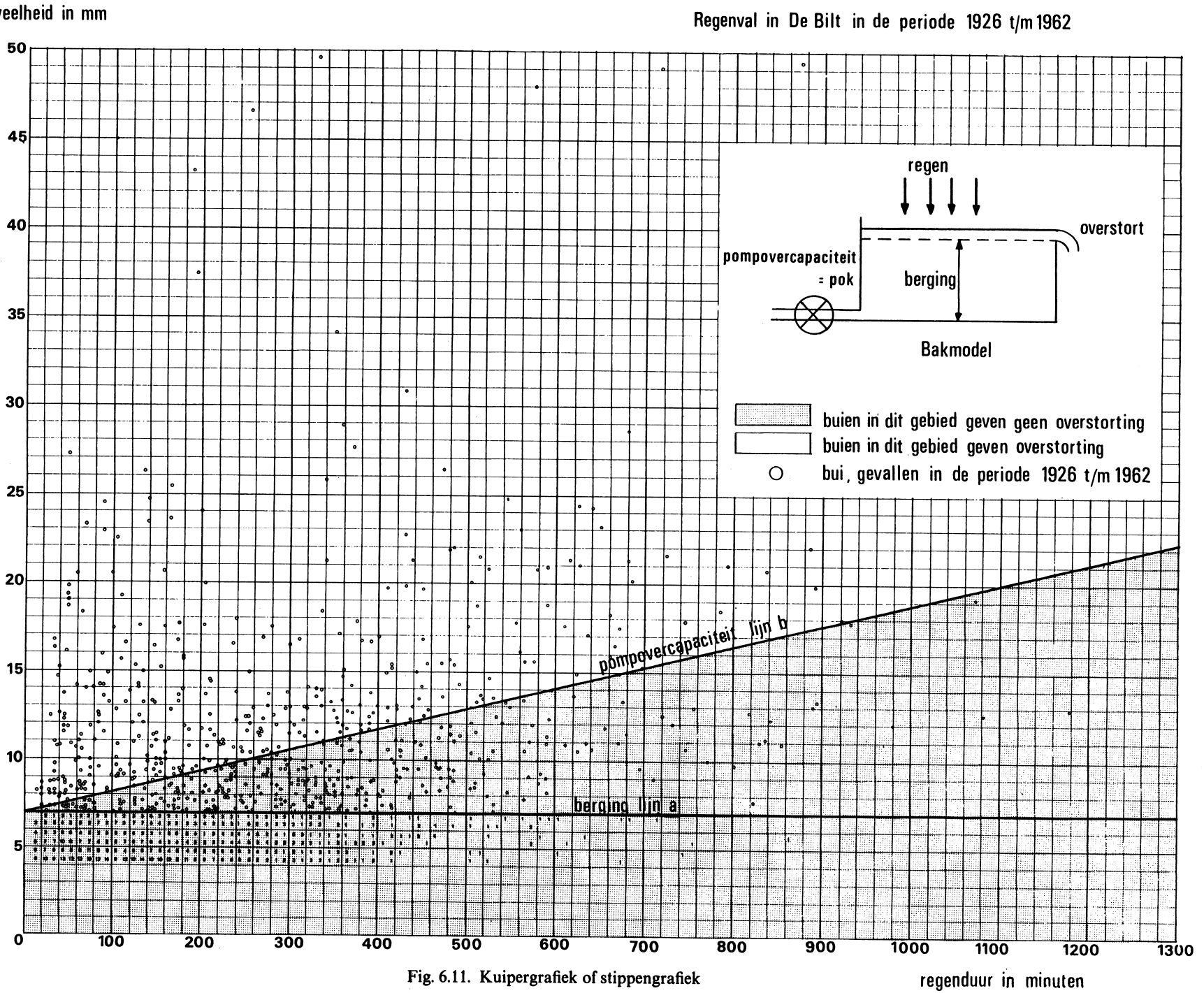


Fig. 6.11. Kuipergrafiek of stippengrafiek

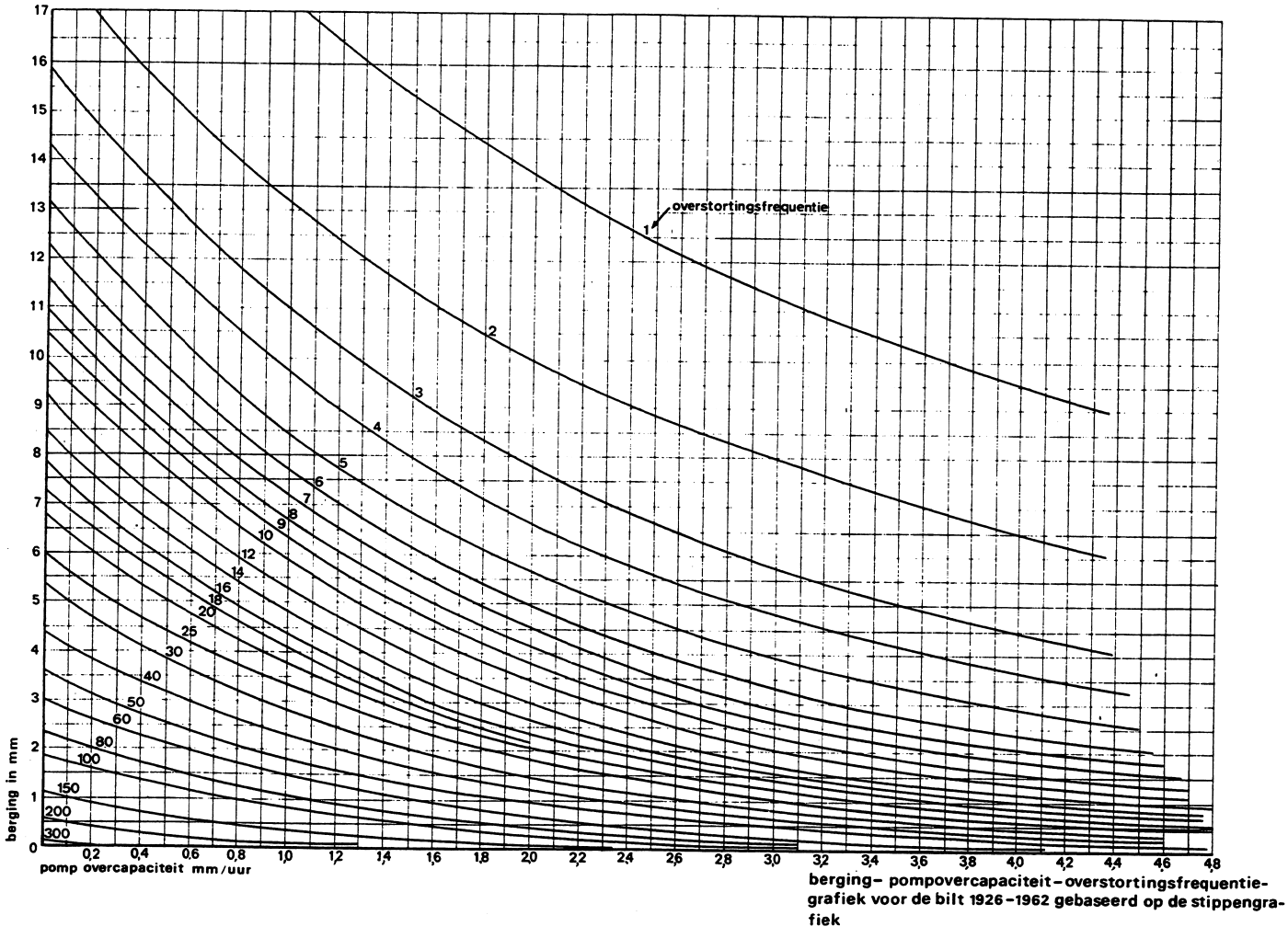
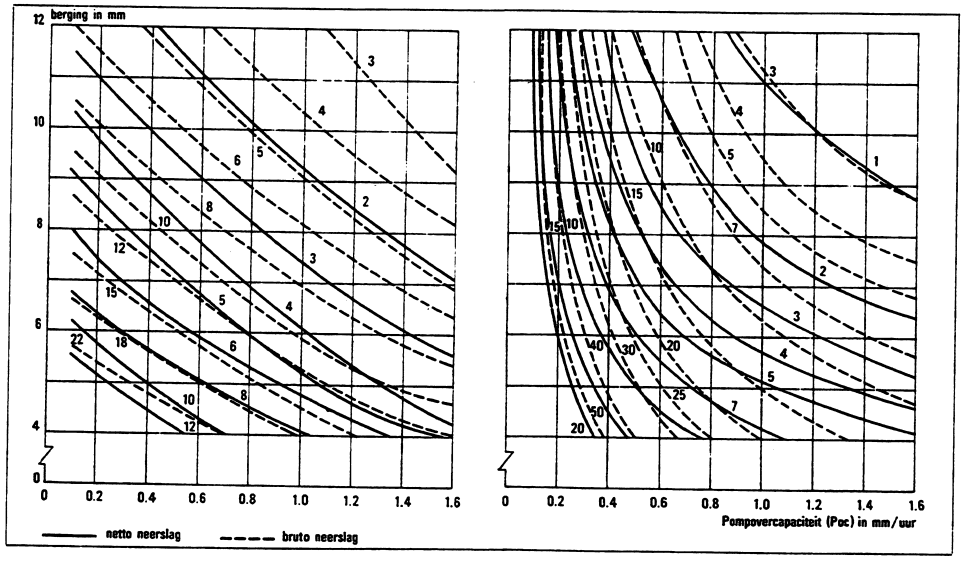


Fig. 6.12. Veldkampgrafiek, gebaseerd op de Kuipergrafiek

A



B

Fig. 6.13. Vergelijking van het gemiddeld aantal overstortingen per jaar:
A: volgens de stippengrafiek;
B: volgens de 5-minutenregens, met en zonder het in aanmerking nemen van neerslagverlies
[6-3]

waarop de grafiek betrekking heeft. De theoretische overstortfrequentie kan zeer eenvoudig worden afgelezen in de Veldkampgrafiek (fig. 6.12), die is afgeleid uit de stippengrafiek. Door de vele aannamen zal de theoretische overstortfrequentie vrijwel nooit overeenkomen met de werkelijke overstortfrequentie.
Van den Herik berekende de overstortfrequenties met gebruik van werkelijke regens met behulp van 5-minuten regengegevens [6-1]. Met behulp van gegevens van de netto neerslag uit het Stedelijk Wateronderzoek in Lelystad vond Van den Berg veel lagere waarden voor het aantal overstorten (fig. 6.13) [6-3]. Het in rekening brengen van het neerslagverlies blijkt bij berekening met de 5-minuten regengegevens het aantal overstortingen met circa 70% te verminderen.

Voorbeeld berekening overstortfrequentie [6-12]
Woongebied gemiddeld per hectare:
aantal inwoners : 120
droogweerafvoer : 100 l/inw. etm
max. d.w.a. : 10 l/inw. h
verhard oppervlak: 0,4 ha (40%)

Hieruit volgt dat de d.w.a. per etmaal 12 m^3 is. De maximale d.w.a. is 1,2 m^3/h. De bergingscapaciteit $B = 28\ m^3 = 7$ mm over het verharde oppervlak. Men wil de berging weer na 10 uur beschikbaar hebben, dat betekent dat de p.o.k. 0,7 mm/h moet zijn.
De theoretische overstortfrequentie is volgens de Veldkampgrafiek (fig. 6.12) gemiddeld 10 per jaar. Afgevoerd moet worden 1,2 + 2,8 = 4 m^3/h = 3,33 d.w.a.

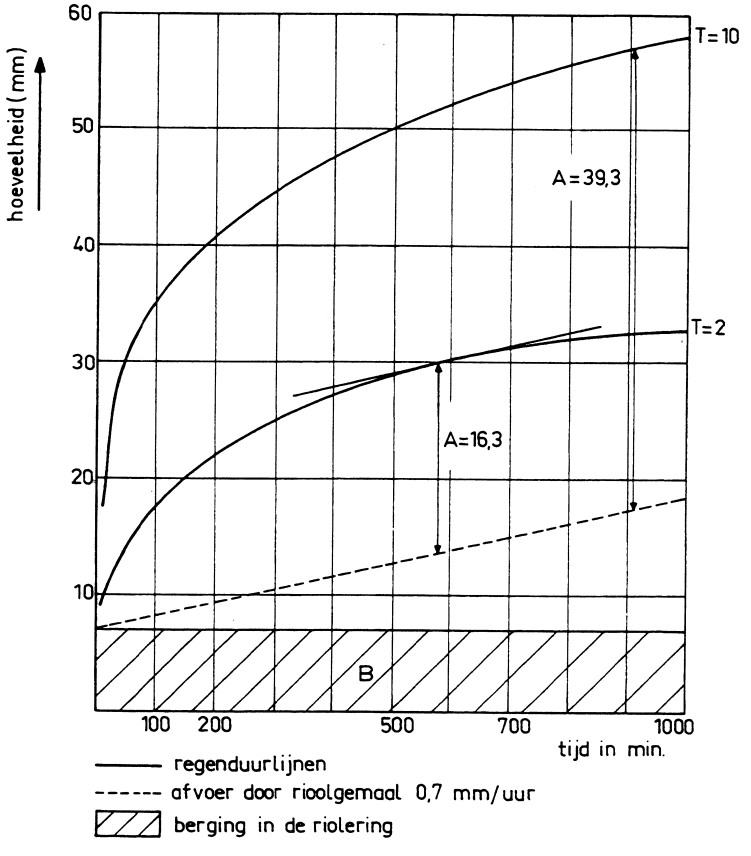


Fig. 6.14. Hoeveelheid overstortend water uit een gemengd rioolstelsel

De theoretische overstorthoeveelheden van een gemengd stelsel kunnen benaderd worden met behulp van de regenduurlijnen. In fig. 6.14 zijn de regenduurlijnen weergegeven met een frequentie van eenmaal per twee en eenmaal per tien jaar. Zodra de berging vol is begint water over te storten. Dit zal net zolang doorgaan tot de intensiteit van de neerslag (dit is de raaklijn aan de duurlijn) gelijk is aan de afgevoerde hoeveelheid (dit is de raaklijn aan de duurlijn evenwijdig aan de lijn van de pompovercapaciteit). De hoeveelheid A in de figuur is dus de overgestorte hoeveelheid.

Voorbeeld berekening overstorthoeveelheid
Berging : 7 mm
Pomp-overcapaciteit: 0,7 mm/h
Verharding per ha. : 0,4 ha (40%)

Uit fig. 6.14 volgt de overstorthoeveelheid per ha:
1 maal per 2 jaar 16,3 mm = 0,0163 × 4000 = 65,2 m^3
1 maal per 10 jaar 39,3 mm = 0,0393 × 4000 = 147,2 m^3

Voor een woonwijk van 50 ha geeft dit overstorthoeveelheden van respectievelijk 3260 m^3 en 7360 m^3.

Regenwaterriolering
De diameter van het regenwaterriool wordt berekend met behulp van de volgende formules:

$$Q = F \cdot v \tag{6.3}$$

Voor een ronde buis wordt dat:

$$Q = \frac{\pi D^2}{4} \cdot v$$

Het wrijvingsverlies in een buis is volgens de formule van Darcy-Weisbach:

$$Z = \lambda \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g} \tag{6.4}$$

Z = het wrijvingsverlies of drukhoogteverlies (m)
D = inwendige diameter (m)
L = lengte (m)
λ = wrijvingsfactor
v = gemiddelde stroomverlies van de vloeistof (m/s)
g = versnelling van de zwaartekracht (m/s²)

Volgens de formule van Colebrook is:

$$\lambda = \frac{0{,}25}{\left\{\log\left(\frac{1}{0{,}4Re\sqrt{\lambda}} + \frac{K}{3{,}71D}\right)\right\}} \tag{6.5}$$

Re = getal van Reynolds
K = wandruwheid (mm)

De uit de vergelijkingen 6.3, 6.4 en 6.5 afgeleide relatie tussen stroomsnelheid, lengte, diameter en wrijvingsverlies is:

$$V = -2\log\left\{\frac{2{,}51 \cdot V^1}{D \cdot \sqrt{2gID}} + \frac{K}{3{,}71D}\right\}\sqrt{2gID} \qquad (6.6)$$

V^1 = kinematische viscositeit; voor schoon water bij 10°C: $V^1 = 1{,}31 \cdot 10^{-6}(m^2/s)$

I = wrijvingsverlies per lengte-eenheid $I = \frac{Z}{L}$

De oplossing van deze relatie is gegeven in tabellen en nomogrammen [6-12]. Tabel 6.5 geeft enige waarden.

Tabel 6.5. Afvoer Q (l/s) en snelheid V (m/s) bij geheel gevulde ronde buizen voor $K = 1{,}5$ mm en $V^1 = 1{,}31 \cdot 10^{-6}$ m²/s gerekend volgens Colebrook

diameter buis (cm)	verhang 1:200		1:400		1:750		1:1000	
	Q	v	Q	v	Q	v	Q	v
25	42,6	0,87	30,0	0,61	21,8	0,44	18,9	0,38
30	69,1	0,98	48,7	0,69	35,5	0,50	30,7	0,43
40	148,0	1,18	105,0	0,83	76,2	0,61	65,8	0,52
50	268,0	1,36	189,0	0,96	138,0	0,70	119,0	0,61
60	433,0	1,53	306,0	1,08	223,0	0,79	193,0	0,68

Voorbeeld

Tussen twee grachten met een grachtafstand van 1200 m ligt om de 100 m een regenwaterriool. Het beschikbare verhang van de hydraulische lijn in het riool is 1,50 m (fig. 6.15). De berekeningsregen is 75 l/s · ha, met een afvloeiingscoëfficiënt van 0,8 en een verhardingspercentage van 30%. Het minimumprofiel van het riool is ∅ 0,30 m. Door het laatste stuk van het riool moet 108 l/s. Uit tabel 6.5 is af te lezen dat de benodigde diameter 0,40 m is. Vanuit het midden tussen de grachten gerekend kan voor de eerste 270 m worden volstaan met ∅ 0,30 m.

Een nauwkeuriger berekening gaat via een verhang van de hydraulische lijn waarbij voor iedere putafstand het beschikbare verhang opnieuw berekend wordt (fig. 6.15, hydraulische lijn 2).

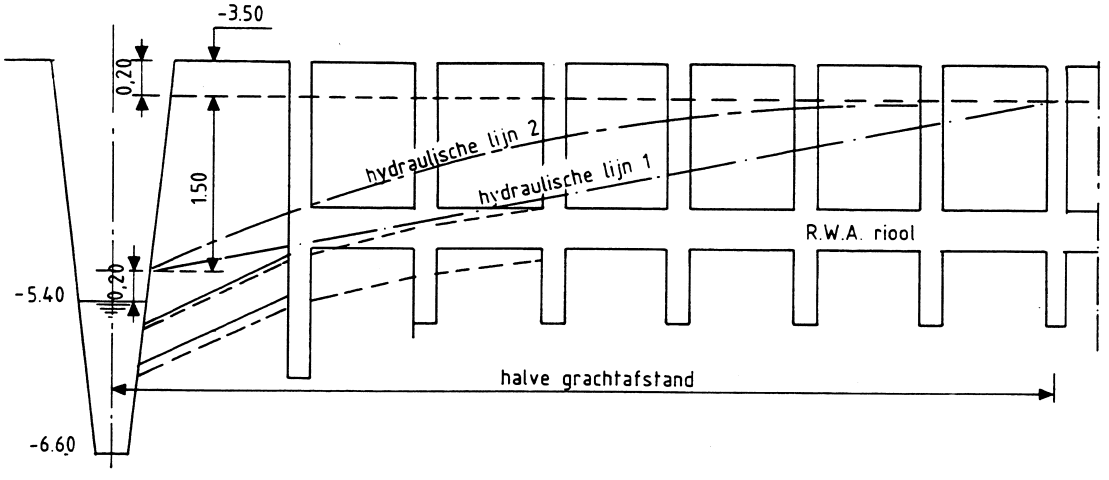


Fig. 6.15. Schematische weergave van het regenwaterriool

De dimensionering van regenwaterriolen kan worden uitgevoerd met eenvoudige programmeerbare calculators, zodat nomogrammen of tabellen niet meer worden toegepast.
Per hectare woongebied wordt 200 à 300 m[1] regenwaterriool aangelegd. Veelal is 60 tot 100% van de lengte van de riolen gelijk aan de minimummaat, ∅0,25 à ∅0,30 m.

6.6 Dimensionering van waterlopen en kunstwerken

6.6.1 Hydraulische begrippen [6-15]
Afhankelijk van hoe de stroming van water door waterlopen varieert met de tijd en naar plaats kan een classificatie worden opgesteld zoals weergegeven in fig. 6.16.

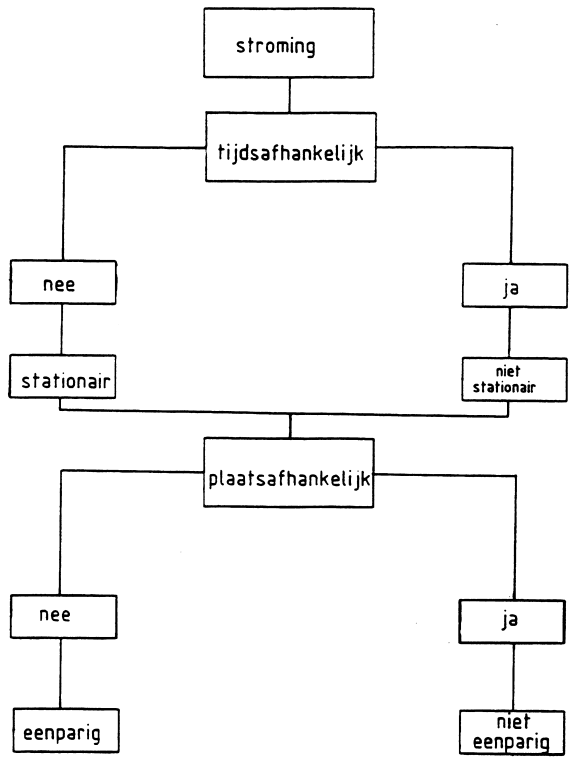


Fig. 6.16. Classificatie stroming door open waterlopen

Naast deze indeling is er nog het onderscheid tussen turbulente stroming en laminaire stroming. Deze indeling wordt bepaald met het getal van Reynolds (*Re*):

$$Re = \frac{v \cdot R}{v^1} \tag{6.7}$$

v = de gemiddelde stroomsnelheid in m/s
R = de hydraulische straal
v^1 = de kinematische viscositeit van de vloeistof in m^2/s;
bij schoon water van 10°C $v^1 = 1{,}3 \times 10^{-6}\ m^2/s$

$Re < 400$: de stroming is laminair
$400 < Re < 2000$: de stroming bevindt zich in een overgangszone
$Re > 2000$: de stroming is turbulent

Stroming in open waterlopen is over het algemeen turbulent. Deze stroming kan in zijn meest algemene vorm worden weergegeven door het stelsel differentiaalvergelijkingen:

$$B\frac{\partial a}{t} + \frac{\partial Q}{x} = 0 \tag{6.8}$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} - \frac{2QB}{As}\cdot\frac{\partial a}{\partial t} + g\cdot A_s\left(1 - \frac{Q^2B}{gA_s^3}\right)\frac{\partial a}{\partial x} + g\cdot A_s\frac{\partial Z_o}{\partial x} + \frac{gQ|Q|}{C^2A_sR} - \frac{B\cdot\beta W|Wx|}{\rho} = 0$$

Hierin is:
Q = debiet
x = plaats
A_s = stroomvoerende dwarsdoorsnede
B = breedte
a = waterdiepte
R = hydraulische straal
Z_o = bodemverval
t = tijd
g = versnelling van de zwaartekracht
W = windsnelheid
β = factor
ρ = dichtheid van de vloeistof

Vergelijking (6.8) is de continuïteitsvergelijking; vergelijking (6.9) is de bewegingsvergelijking. Met beide vergelijkingen kan elke stroming in open waterlopen worden berekend. Omdat de oplossing van de vergelijkingen niet eenvoudig is worden de vergelijkingen vereenvoudigd bij aanname van een bepaald type stroming (fig. 6.16).

Stationaire, eenparige stroming $\frac{\partial v}{\partial t} = 0 \quad \frac{\partial v}{\partial x} = 0$

Er is sprake van stroming door een recht kanaal, waarbij waterspiegel en bodem evenwijdig zijn en geen windeffecten optreden. De bewegingsvergelijking wordt gereduceerd tot:

$$g\cdot A_s\cdot\frac{\partial Z_o}{\partial x} + \frac{gQ|Q|}{C^2A_sR} = 0 \tag{6.10}$$

met $\frac{\partial Z_o}{\partial x} = I$ wordt (6.10):

$$Q = A_s\cdot C\cdot\sqrt{R\cdot I} \tag{6.11}$$

Dit is de formule van Chézy. De wrijving langs de omtrek speelt bij de stroming een overheersende rol. De waarde van C varieert van 30 tot 70 $m^{\frac{1}{2}}\cdot s^{-1}$. Manning drukte de weerstand in de waterloop uit in K_m met als uitdrukking voor de stroming:

$$Q = A_s\cdot K_m\cdot R^{2/3}\cdot I^{1/2} \tag{6.12}$$

De relatie tussen de wrijvingscoëfficiënt C van Chézy en de ruwheidsfactor K_m van Manning is:

$$C = K_m\cdot R^{1/6}$$

Stationair, niet-eenparige stroming $\frac{\partial v}{\partial t} = 0 \quad \frac{\partial v}{\partial x} \neq 0$

Er is sprake van een stationaire stroming, namelijk onafhankelijk van de tijd; de snelheid is wel afhankelijk van de plaats. Hierbij wordt vaak een onderscheid gemaakt tussen:

- geleidelijk veranderende stroming $\left(\frac{\partial v}{\partial x} \simeq 0\right)$. De snelheid varieert in geringe mate in de stroomrichting en de wrijvingsweerstand overheerst. Stuwkrommen en valkrommen behoren tot dit type stroming.
- sterk veranderende stroming $\left(\frac{\partial v}{\partial x} \neq 0\right)$. De snelheid varieert sterk en de wrijvingsweerstand overheerst. De meeste kunstwerken vallen onder dit type stroming.

De algemene vergelijking (6.9) kan bij verwaarlozing van windeffecten worden vereenvoudigd tot:

$$g \cdot A_s\left(1 - \frac{Q^2 \cdot B_s}{g \cdot A_s^3}\right)\frac{\partial a}{\partial x} + g \cdot A_s \cdot \frac{\partial Z_o}{\partial x} + \frac{gQ|Q|}{C^2 A_s R} = 0 \qquad (6.13)$$

bij $\frac{\partial Z_o}{\partial x} = I_b$

$$\frac{da}{dx} = I_b \cdot \frac{1 - \frac{Q^2}{C^2 \cdot A_s^2 \cdot R \cdot I_b}}{1 - \frac{V^2}{ga}} \qquad (6.14)$$

Vergelijking (6.14) is de differentiaalvergelijking van de verhanglijn. Deze vergelijking kan ook worden geschreven als:

$$\frac{da}{dx} = \frac{I_b - I_e}{1 - F_r^2} \qquad (6.15)$$

I_b = bodemverhang
I_e = wrijvingsverhang
F_r = getal van Froude $F_r = \frac{v}{\sqrt{g \cdot a}}$

Niet-stationaire, niet-eenparige stroming $\frac{\partial v}{\partial t} \neq 0 \quad \frac{\partial v}{\partial x} \neq 0$

Er is sprake van zowel verandering van de snelheid in de tijd als naar plaats. Hiervoor geldt de 'langegolfvergelijking' (6.9). Als het getal van Froude klein is, hetgeen het geval is bij stromend water, dan geldt:

$$F_r^2 = \frac{v^2}{g \cdot a} \ll 1 \quad \rightarrow \frac{v^2}{g \cdot a} = \frac{Q^2 \cdot B}{g \cdot A_s^3} \ll 1$$

dan wordt vergelijking (6.9):

$$\frac{\partial Q}{\partial t} - 2 \cdot \frac{Q \cdot B}{A_s} \cdot \frac{\partial a}{\partial t} + g \cdot A_s \cdot \frac{\partial a}{\partial x} + g \cdot A_s \cdot \frac{\partial Z_o}{\partial x} + \frac{gQ|Q|}{C^2 \cdot A_s \cdot R} = 0 \qquad (6.16)$$

Deze vergelijking wordt veelal bij niet-stationaire stromingsberekeningen toegepast (par. 6.6.2).

Kunstwerken

De kunstwerken vallen onder de stationaire, niet-eenparige stroming. De volgende formules kunnen hierbij worden gebruikt:

- *duikers*, onderleiders, hevels en bruggen

$Q = \mu \cdot A \cdot \sqrt{2} \cdot g \cdot z$ (6.17)

μ = wrijvingscoëfficiënt

z = verval over de duiker

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{\xi_i + \xi_w + \xi_u}}$$

ξ_i = intreeverlies 0,4 à 0,8

ξ_w = wrijvingsverlies $\xi_w = \dfrac{2 \cdot g \cdot l}{C^2 R}$ of $\lambda \cdot l$

l = lengte van de duiker

λ = wandruwheid

ξ_u = uittreeverlies 0,4 à 1,0

- *stuwen* en overlaten

$Q = 1{,}7 \cdot m \cdot b \cdot H_1^{3/2}$ volkomen overlaat (6.18)

m = afvoerfactor $m = 0{,}8$ à $1{,}1$

$Q = \mu \cdot b \cdot H_2 \sqrt{2g} \cdot (H_1 - H_2)$ onvolkomen overlaat (6.19)

μ = wrijvingscoëfficiënt

- *opening onder water*

$Q = m \cdot A \cdot H_1^{1/2}$ (6.20)

H_1 = hoogte waterspiegel bovenstrooms boven stuwkruin

H_2 = hoogte waterspiegel boven stuwkruin

6.6.2 Niet-stationaire stromingsberekeningen

Voor niet-stationaire stromingsberekeningen zal gebruik moeten worden gemaakt van computerprogramma's. In tabel 6.5 is een overzicht gegeven van een aantal beschikbare programma's. Met behulp van niet-stationaire modellen is het mogelijk voor elk punt van het watersysteem de waterstand en de afvoer op elk tijdstip te berekenen. Het waterlopenstelsel wordt geschematiseerd tot een systeem van een beperkt aantal takken en knopen om de kosten (computerrekentijd) en de hoeveelheid informatie te beperken. In de takken worden de afvoeren berekend volgens de stromingsvergelijking; in de knopen worden de waterstanden berekend volgens de continuïteitsvergelijking (par. 6.6.1). De afstanden tussen de knopen en de tijdstappen worden zo groot genomen dat de gevonden resultaten toch een voldoende afspiegeling geven van de werkelijkheid. Hier zal niet verder worden ingegaan op de principes van de berekeningsmethoden [6-10, 6-16]. Aan de hand van een tweetal voorbeelden zullen de toepassingsmogelijkheden worden geïllustreerd.

Voorbeeld 1: Lozing van een industrieterrein op een enkele watergang [6-16]

Dit voorbeeld is illustratief voor een onderzoek naar de invloed van kunstwerken op de demping van afvoergolven. In fig. 6.17 is het beschouwde systeem weergegeven. In de watergang bevinden zich een duiker en een drietal stuwen B, C en E. De watergang is in beheer bij een waterschap, dat de voorwaarden stelt waaronder op de watergang mag worden geloosd. Dit zijn voorwaarden aan de waterstanden in de stuwpanden 3 en 4 en een maximaal toelaatbare afvoer over stuw B. Dit laatste in verband met de beperkte afvoercapaciteit van de duiker. Bij een 10-jarige afvoer zullen geen inundaties mogen voorkomen en zal de afvoer over stuw B maximaal 3,00 à 3,50 m^3/s mogen bedragen. Bij de uit te voeren berekeningen wordt uitgegaan van het samenvallen van de 10-jarige

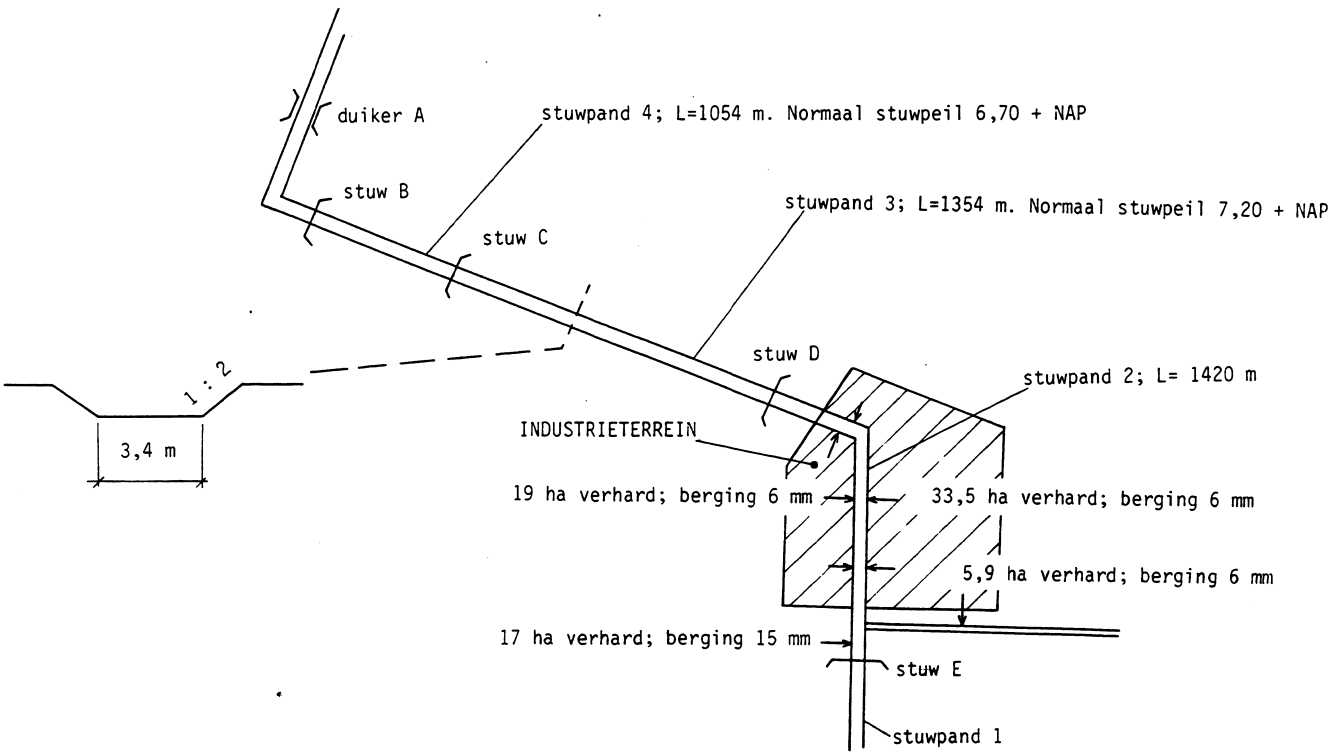


Fig. 6.17. Schematisch overzicht van de lozing van een industrieterrein op een watergang [6-16]

bui op het beschouwde verharde oppervlak en de halve landelijke ontwerpafvoer (permanent) in de watergang. Bij het zoeken naar een oplossing is getracht gebruik te maken van berging in de watergang. Het is mogelijk de beschikbare berging te vergroten door een stuw D aan te brengen en het stuwpeil in stuwpand 2 te verlagen. Fig. 6.18 toont de voortplanting van de afvoergolf door de waterloop voor het geval stuw D in het geheel niet aanwezig is. In deze figuur zijn uitgezet de debieten ter plaatse van de niet aanwezige stuw D en ter plaatse van de stuwen C en B, als functie van de tijd. Zeer duidelijk is het dempende effect van de berging in de watergang op de afvoergolf te zien als deze zich voortplant van de plaats van stuw D naar de stuwen C en B.

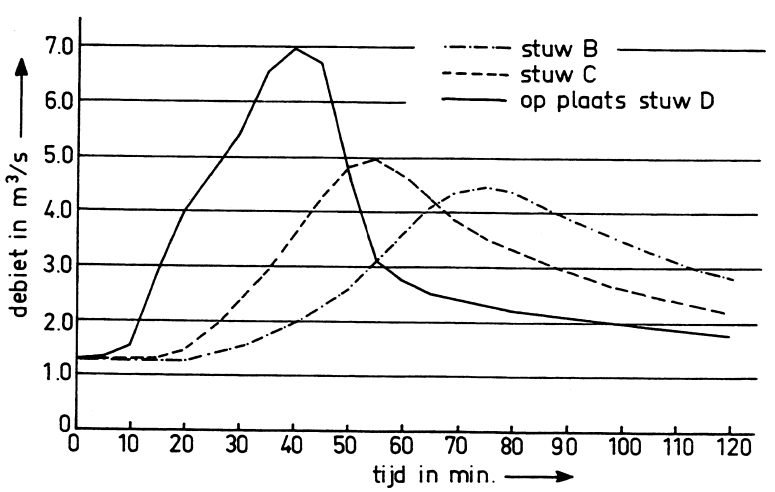


Fig. 6.18. Afvoergolf door de waterloop bij het niet aanwezig zijn van stuw D. Debieten als functie van de tijd [6-16]

De maximale waterstanden in de stuwpanden 2, 3 en 4 bedragen in dit geval 8,10 m + N.A.P. respectievelijk 7,80 m + NAP en 7,28 m + NAP. De waterstanden zijn kritiek te noemen en de maximale afvoer over stuw B overschrijdt de gestelde norm ruimschoots.
In een alternatief is de invloed onderzocht van een relatief smalle stuw D van 1,80 m breed. De stuwkruin is op een dermate laag niveau geplaatst dat de stuwing bij halve maatgevende afvoer nog gering is. Fig. 6.19 geeft de optredende afvoergolven voor dit geval. Wederom zijn hier de berekende debieten ter plaatse van de stuwen D, C en B weergegeven. De maximale waterstanden in de stuwpanden 2, 3 en 4 bedragen voor dit geval 8,33 m + NAP, respectievelijk 7,66 m + NAP en 7,16 m + NAP. Door de invloed van dit 'knijp'-kunstwerk wordt de afvoernorm op stuw B nagenoeg gehaald. De maximale waterstanden in de stuwpanden 3 en 4 dalen ten opzichte van het vorige geval, terwijl de waterstand in stuwpand 2 stijgt. Deze stijging is echter zodanig, dat één en ander geen overlast veroorzaakt op de industrieterreinen langs stuwpand 2. De

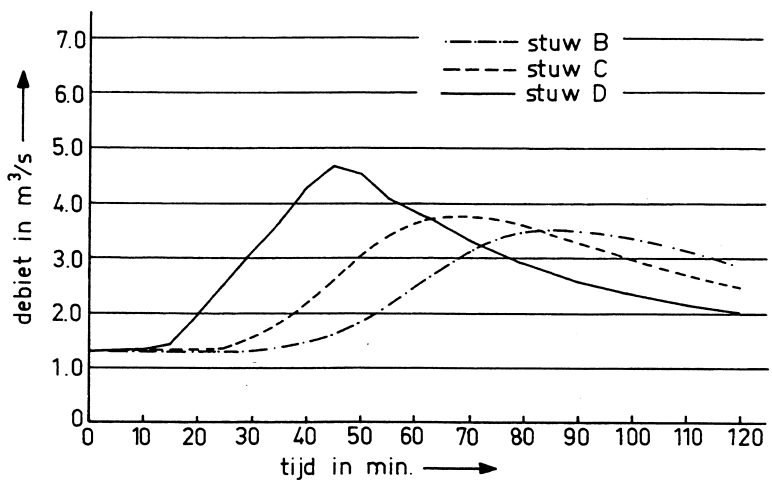


Fig. 6.19. Afvoergolf door de waterloop bij toepassing van een relatief smalle stuw D. Debieten als functie van de tijd [6-16]

maximale waterstanden in het bovenstrooms gelegen stuwpand 1 worden ook nauwelijks beïnvloed. De toepassing van deze laag gelegen stuw heeft echter een aantal nadelen. Het belangrijkste nadeel is dat bij lage stuwpeilen, die regelmatig voorkomen, stuwpand 2 gedeeltelijk droogvalt. In verband hiermede wil men een vaste drempel bij stuw D op het laagste stuwpeil van stuwpand 2, zijnde 7,20 m + NAP. De toepassing van een stuw met een kruinniveau 7,20 m + NAP verkleint echter de beschikbare berging in stuwpand 2 ten opzichte van het vorige geval. Dit negatieve effect kan gecompenseerd worden door toepassing van een stuwvorm met een gunstige afvoerkarakteristiek. Fig. 6.20 toont de zogenaamde brievenbusstuw met de bijbehorende afvoerkarakteristiek. De 4,00 m brede drempel op 7,20 m + NAP garandeert het minimaal vereiste stuwpeil. Bij stijging van de waterstand van 7,20 m + NAP tot 7,60 m + NAP neemt het debiet sterk toe. De afvoerrelatie is die van een volkomen overlaat. Bij een waterstand hoger dan 7,60 m + NAP is voor de opening de afvoerrelatie van een 'gat onder water' van toepassing, waardoor het debiet veel minder sterk afneemt.
Boven 8,00 m + NAP is de stuw 5,50 m breed. Deze brede drempel zorgt er voor dat de stuw zeer grote afvoeren kan verwerken.

Fig. 6.21 geeft de afvoergolven bij de brievenbusstuw. Opvallend is de lagere topafvoer over de stuw (maximaal 3,37 m^3/s, dat is binnen de gestelde afvoernorm), ondanks de geringere berging. Een en ander is geheel toe te schrijven aan de gunstige afvoerkarakte-

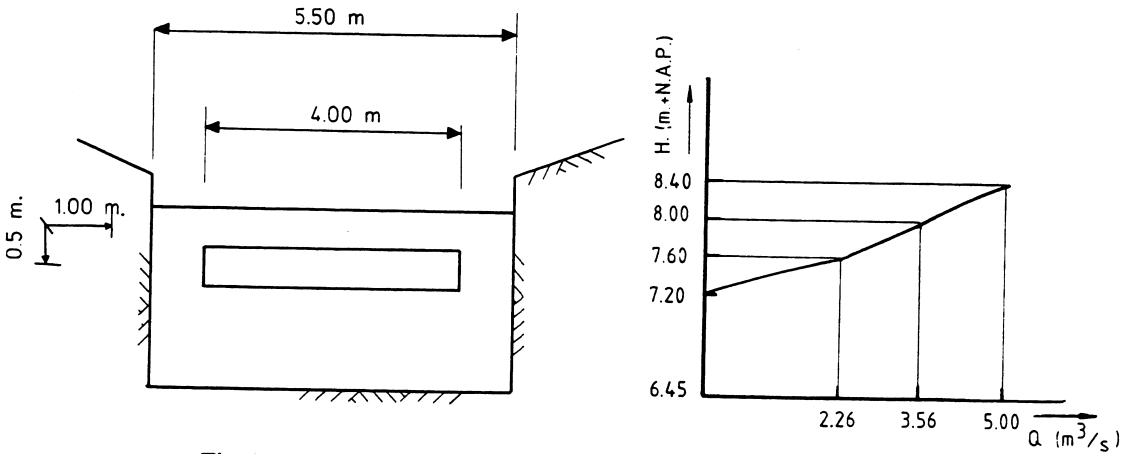


Fig. 6.20. Brievenbusstuw met bijbehorende afvoerkarakteristiek [6-16]

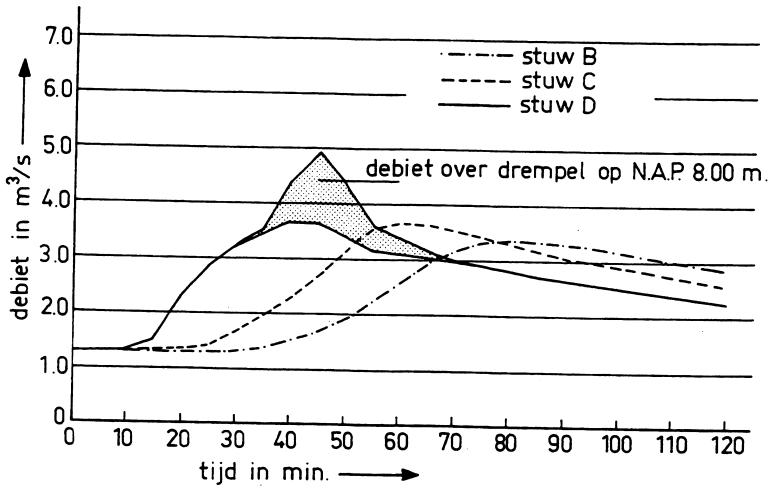


Fig. 6.21. Afvoergolf bij stuw D als brievenbusstuw. Debieten als functie van de tijd [6-16]

ristiek van de brievenbusstuw. De maximale waterstanden in de stuwpanden 2, 3 en 4 bedragen voor dit geval 8,37 m + NAP, respectievelijk 7,66 m + NAP en 7,12 m + NAP. Een dergelijke brievenbusstuw is bij voorkeur dan toe te passen indien de afmetingen van de opening voldoende groot kunnen zijn zodat drijvend vuil de sleuf kan passeren. De opening zal in 95% van de tijd als een overstort met vrije waterspiegel functioneren, met een waterstand lager dan de halve sleufhoogte.

Voorbeeld 2: Lozing van een stedelijk gebied op een landbouwpolder [6-17]
Een stedelijke uitbreiding ter grootte van 100 hectare mag 0,15 $m^3/s \cdot km^2$ (13 mm/etm) lozen op een polder met een grootte van 1663 hectare (fig. 6.22). Dit betekent dat in het stedelijk gebied berging aangelegd moet worden in de vorm van singels met een oppervlak van 7,37 hectare. De lozing wordt gelimiteerd via een kunstwerk zoals weergegeven in fig. 6.7. De totale polder is geschematiseerd tot een stelsel van takken en knopen (fig. 6.23).
Om de consequenties van de afvoer van het nieuwe stedelijk gebied op dit waterlopensysteem te kunnen onderzoeken zijn een aantal alternatieven niet-stationair doorgerekend.
Naast het alternatief met de gelimiteerde afvoer zijn ook alternatieven onderzocht met een vrije lozing over een stuw op de polder en een alternatief met een eigen bemaling van het stedelijk gebied. Voor de berekening is gebruik gemaakt van regenduurlijnen volgens de 5-minutenregens. Ook is het maalbeleid van het poldergemaal gevarieerd.

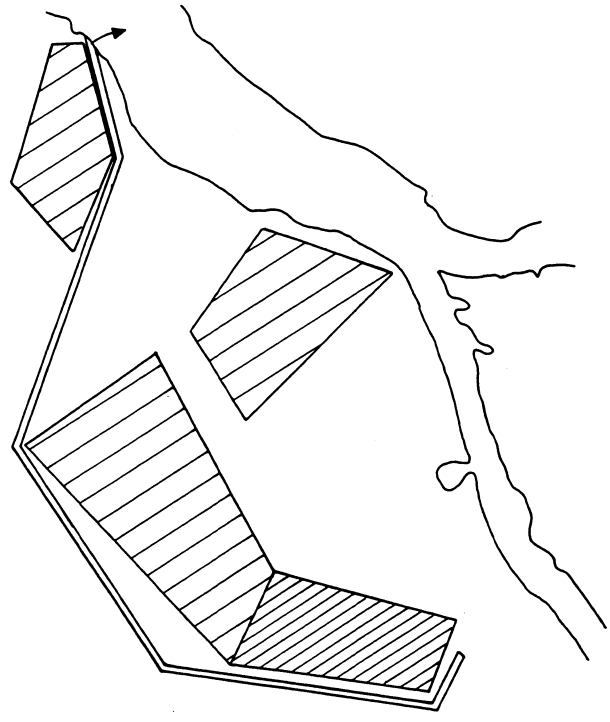


Fig. 6.22. Lozing van een stedelijk gebied op een landbouwpolder [6-17]

In fig. 6.24, 6.25 en 6.26 zijn uitkomsten van de berekeningen gegeven. Uit fig. 6.24 blijkt dat het peil in de polder moeilijk op het gewenste niveau is te handhaven. Het maalbeleid van de machinist is van grote invloed op de optredende waterstanden. Het vroeg aanzetten van het gemaal voorkomt weliswaar grote peiloverschrijdingen in het oostelijk deel, maar het veroorzaakt tevens langdurige peilonderschrijdingen in de rest van de polder, hetgeen het benodigde onderhoud van de taluds sterk vergroot. Vergelijking van fig. 6.25 met fig. 6.24 laat zien dat in alternatief 1 een goede peilbeheersing nog moeilijker is.
Uit fig. 6.26 blijkt dat een goede peilbeheersing voor de polder verkregen wordt door een eigen bemaling van de stedelijke uitbreiding waarbij het oostelijk deel van de landbouwpolder ook bemalen wordt met het nieuwe gemaal.
Indien minder open water in het stedelijk gebied wordt aangelegd dan wordt bespaard op aanleg en onderhoud van dat water en komt er extra ruimte voor bebouwing.

6.6.3 De bergingsberekening

Veelal zijn de afmetingen van de stadgrachten of bergingsvijvers zodanig groot ten opzichte van de capaciteit van de lozingsmiddelen, dat de stroomsnelheden en de verhangen in de stadsgrachten zelden bepalend zullen zijn voor het ontwerp. Daar kan het open water beschouwd worden als een bak en op grond van de afvoer van het lozingskunstwerk kan het peilverloop worden berekend. De benadering is vooral van toepassing indien een stedelijke polder wordt bemalen en indien de afvoer over een stuw of opening onder water gering is ten opzichte van de toevoer.

De berekening wordt gesplitst in twee delen:
- de berekening van de benodigde hoeveelheid berging,
- de dimensionering van de waterlopen in verband met de afvoer.

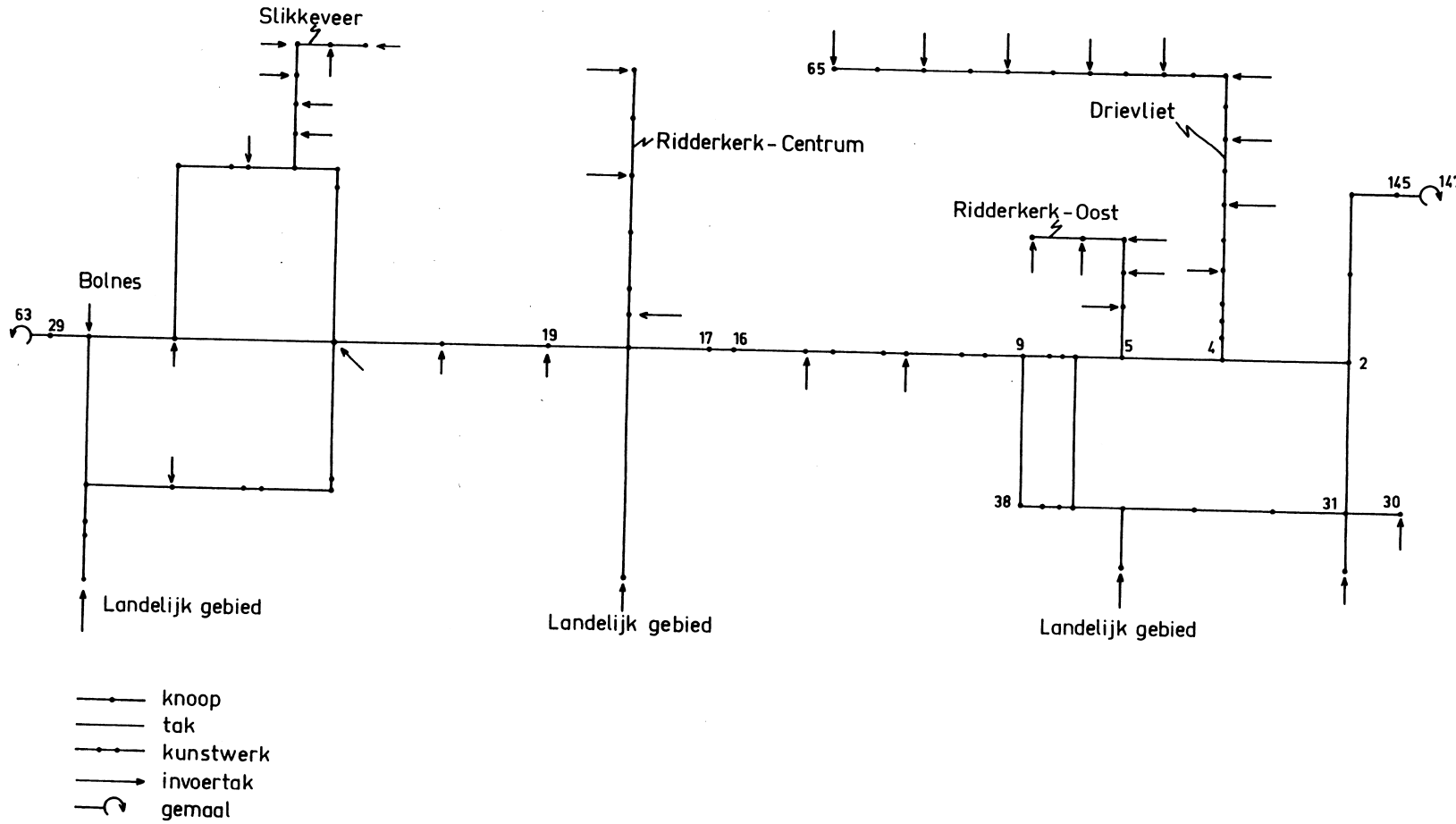


Fig. 6.23. Schematisering van de polderwatergangen [6-17]

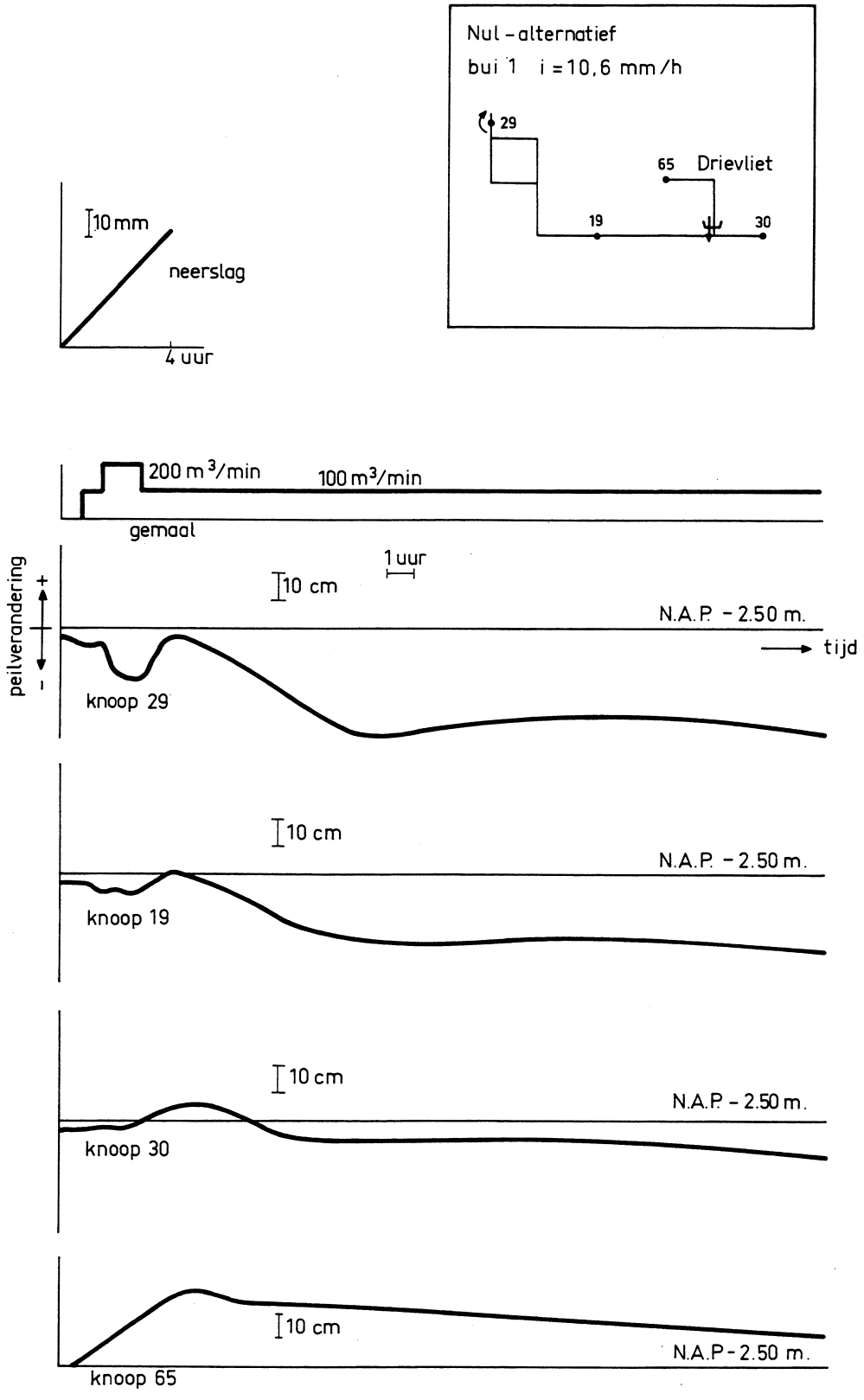


Fig. 6.24. Nul-alternatief, gelimiteerde lozing; bui 1 (i = 10,6 mm/h gedurende 4 uur) [6-17]

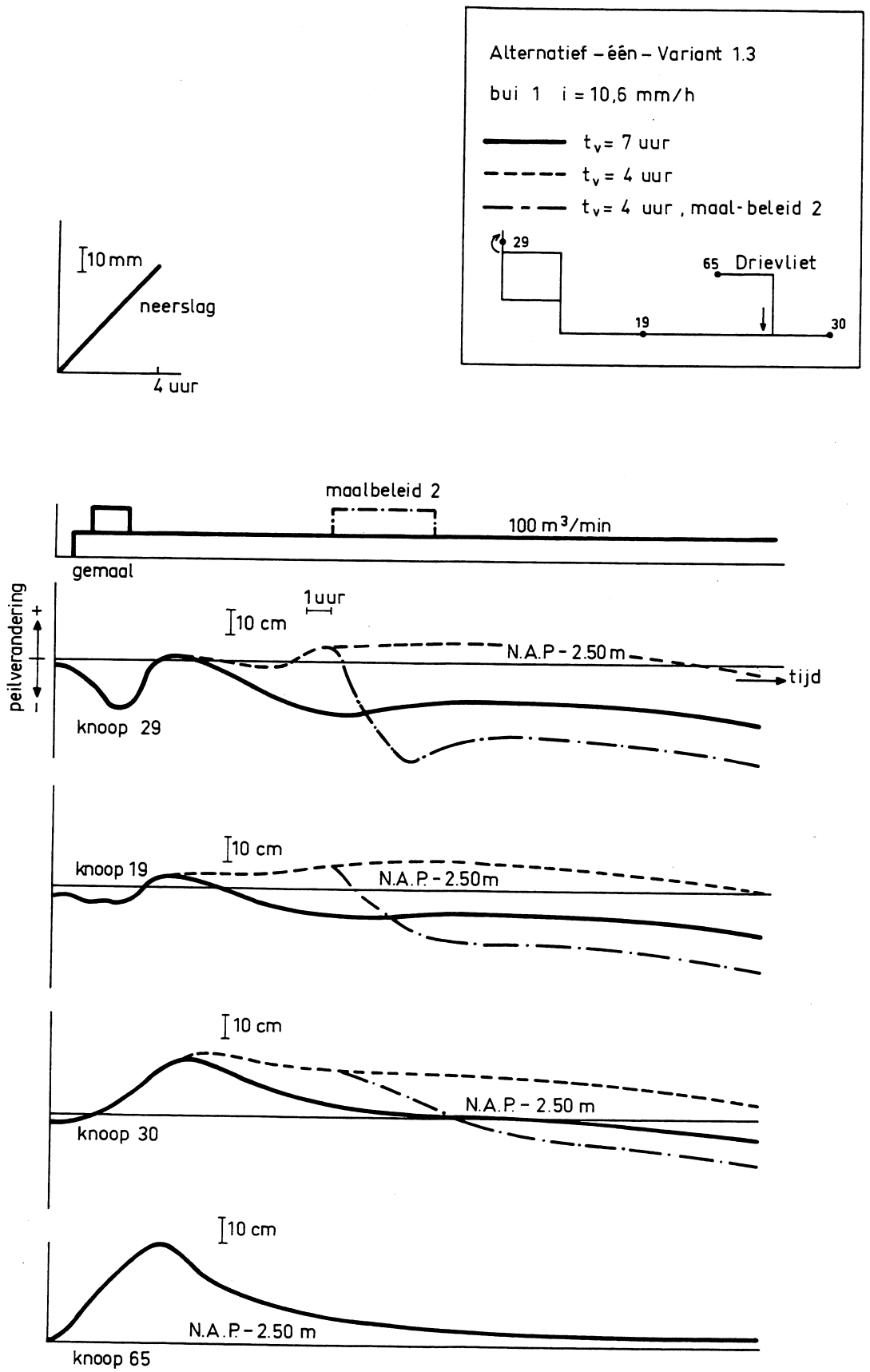


Fig. 6.25. Alternatief 1, vrije lozing over een stuw; bui 1 (i = 10,6 mm/h gedurende 4 uur) [6-17]

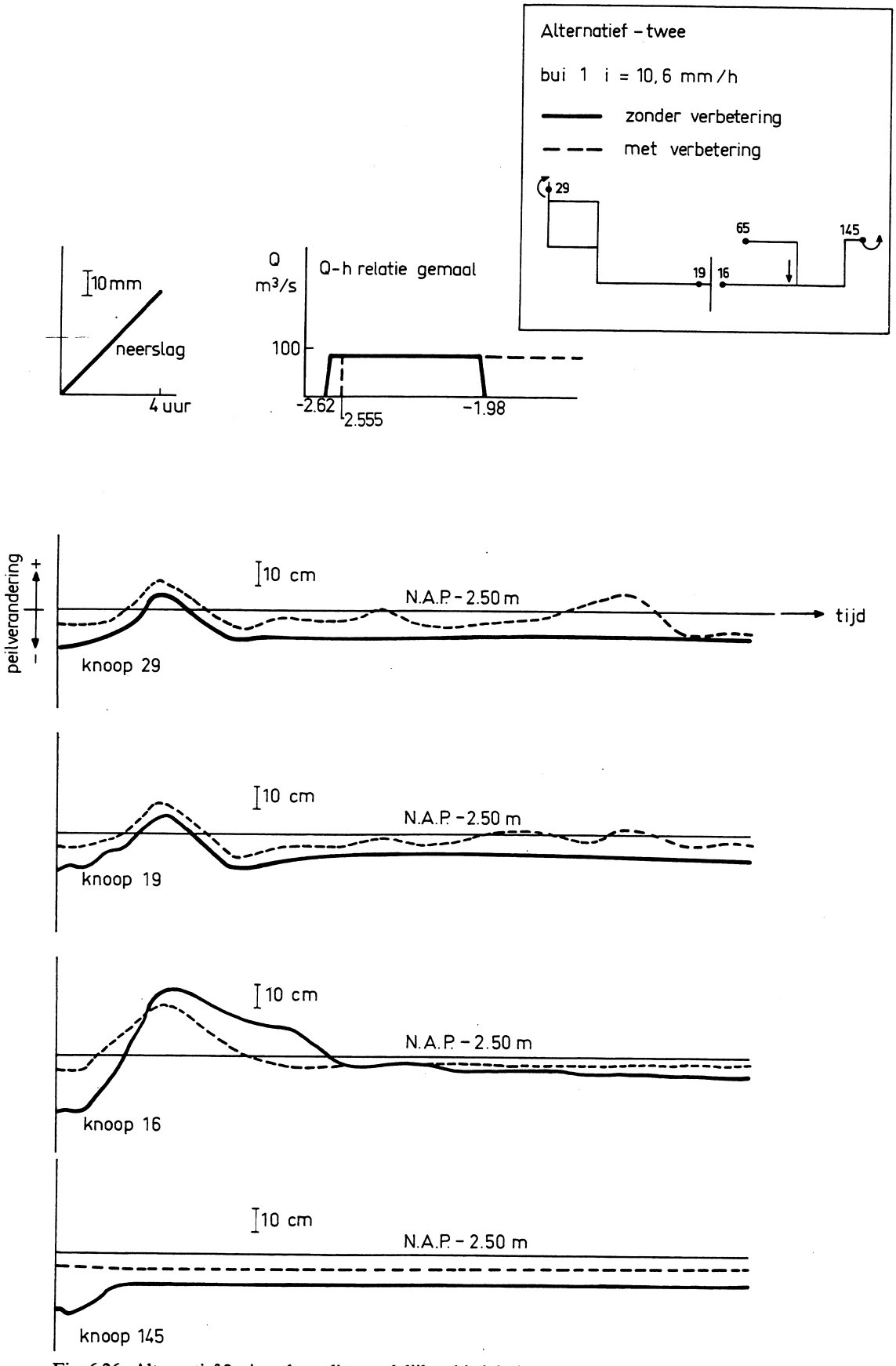


Fig. 6.26. Alternatief 2, eigen bemaling stedelijk gebied; bui 1 (i = 10,6 mm/h gedurende 4 uur) [6-17]

De berekening van de benodigde hoeveelheid berging

Voor de bergingsberekening wordt de aanvoer van water gelijkmatig verdeeld geacht over het gehele oppervlak van de bak. De bergingsberekening wordt uitgevoerd met een waterbalans:

In = Uit + Berging

De waarden van de variabelen uit deze waterbalans zijn in de voorgaande paragrafen besproken. Voor een gescheiden rioolstelsel en een bemalen stedelijk gebied is de waterbalans:

$$V \cdot (H_t - C) + W \cdot H_t + O \cdot \frac{q_{drain}}{24} \cdot t - \frac{q_{gemaal}}{24} \cdot t(V + O + W) = P_t \cdot W \qquad (6.21)$$

$$V + O + W = 10.000$$

De berekening wordt hier dus per hectare uitgevoerd. Stel de volgende gegevens:

q_{drain}	= 5 mm/etm = 0,005 m/etm	drainafvoer
q_{gemaal}	= 14 mm/etm = 0,014 m/etm	capaciteit poldergemaal
C	= 3 mm = 0,003 m	berging op straat
P_t	= 0,50 m	toelaatbare peilstijging
V	= 45% = 4500 m^2	verhard oppervlak
O	=	onverhard oppervlak
W	=	oppervlak open water
H_t	=	hoeveelheid neerslag op tijdstip t; 1 × per 10 jaar (fig. 3.8)

Onbekend is wat het maatgevende tijdstip is; daarom wordt de berekening uitgevoerd voor verschillende tijdstippen na het begin van de neerslag (tabel 6.6):

$V + O + W = 10.000$
$O = 5.500 - W$

$$4.500 \cdot (H_t - 0{,}003) + (5.500 - W) \cdot 0{,}0002 \cdot t - 0{,}00058 \cdot t \cdot 10.000 = (0{,}5 - H_t)W$$

Verwaarloos $W \cdot 0{,}0002 \cdot t$

Tabel 6.6. Berekening van het oppervlakte open water met de waterbalans (hoeveelheden water in m^3)

t (uren) na begin bui	1	3	6	9	12	18	24
H_t (mm) (fig. 3.8)	0,032	0,039	0,047	0,051	0,053	0,057	0,058
$H_t - C$ (mm)	0,029	0,036	0,044	0,048	0,050	0,054	0,055
4.500 $(H_t - C)$ (+)	130,5	162,0	198	216	225	243	247,5
5.500 $(0{,}0002 \cdot t)$ (+)	1,1	3,3	6,6	9,9	13,2	19,8	26,4
5,8 t (−)	5,8	17,4	34,8	52,2	69,6	104,4	139,2
totaal te bergen hoeveelheid water (m^3)	125,8	147,9	169,8	173,7	168,6	158,4	134,7
voor de maatgevende periode:	$173{,}7 = (0{,}5 - 0{,}051)\ W$						
	$W = 386$ m^2 of $W = 3{,}9\%$						

Deze berekening is uitgevoerd bij variatie van het verhard oppervlak, toelaatbare peilstijging en gemaalafvoer. De uitkomsten zijn weergegeven in fig. 6.27.

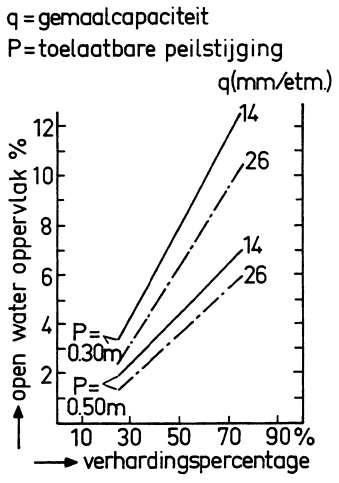


Fig. 6.27. Relatie verharding, peilstijging, gemaalcapaciteit en oppervlakte open water bij toepassing van een gescheiden rioleringsstelsel

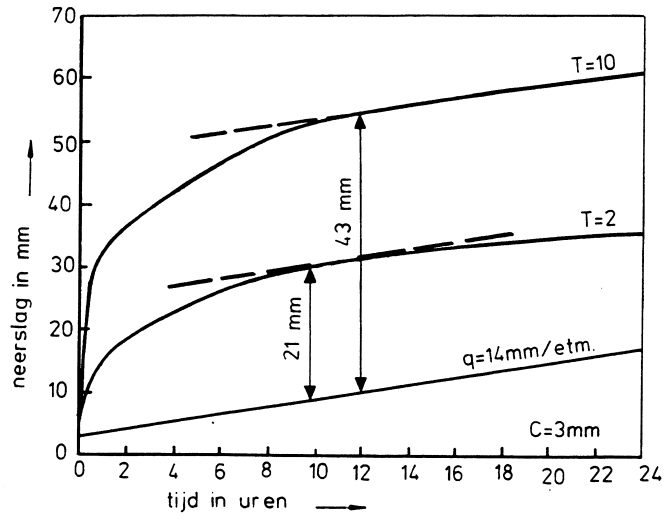


Fig. 6.28. Grafische bepalingen van de te bergen hoeveelheid neerslag voor T = 2 jaar en voor T = 10 jaar, uitgaande van regenduurlijnen volgens de '5-minutenregens' en een gescheiden rioolstelsel. Berging op straat C = 3 mm. Capaciteit poldergemaal q = 14 mm/etm.

Met enige verwaarlozing is de berekening grafisch uit te voeren (fig. 6.28). Uit de figuur volgt een totaal te bergen hoeveelheid water van 43 mm over het verharde oppervlak. Bij de aanname dat de afvoer van het onverharde oppervlak ongeveer gelijk is aan de capaciteit van het poldergemaal, gerekend over dat onverharde oppervlak, dan geldt:

$$0{,}043 \cdot V = 0{,}50 \cdot W - 0{,}053 \cdot W$$

Het benodigde oppervlak van het open water bedraagt in dit geval 432 m^2 per hectare. Het komt voor dat de hoeveelheid open water gegeven is vanwege andere overwegingen, bijvoorbeeld de grondbalans of recreatieve functies. Als de lozingsmogelijkheden niet beperkt zijn dan kan men de benodigde gemaalcapaciteit bepalen. Dit is grafisch uitgevoerd in fig. 6.29.

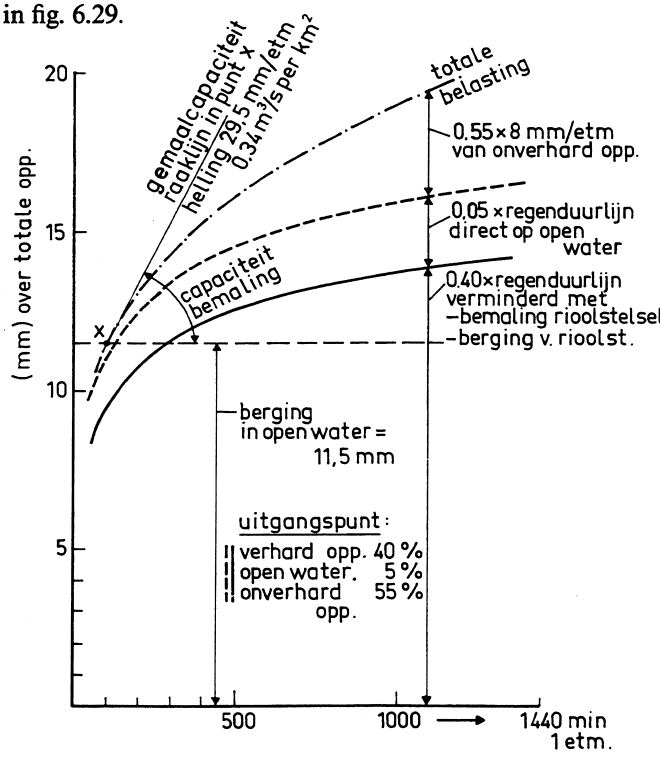


Fig. 6.29. Berekening van de capaciteit poldergemaal voor een stedelijk gebied bij een gegeven oppervlakteverdeling

Voor een *gemengd rioolstelsel* en een bemalen stedelijk gebied is de berekening niet anders. Wel moeten in de waterbalans andere waarden voor de variabelen worden ingevoerd. Zo moet de berging in het rioolstelsel en de pomp-overcapaciteit van het rioolgemaal verwerkt worden om de waterbelasting op het open water te bepalen. De waterbalans is:

$$V \cdot (H_t - C - B - P_{o.k.} \cdot t) + W \cdot H_t + O \cdot \frac{q_{drain}}{24} \cdot t - \frac{q_{gemaal}}{24} \cdot t(V + O + W) = P_t \cdot W \tag{6.22}$$

$$V + O + W = 10.000$$

De berekening wordt hier dus per hectare uitgevoerd. Stel de volgende gegevens:

q_{drain}	= 5 mm/etm = 0,005 m/etm	drainafvoer
q_{gemaal}	=	capaciteit poldergemaal
$P_{o.k.}$	=	pomp-overcapaciteit rioolgemaal
C	= 3 mm = 0,003 m	berging op straat
B	=	berging in het riool
V	=	verhard oppervlak
O	=	onverhard oppervlak
W	=	oppervlak open water
H_t	=	hoeveelheid neerslag op tijdstip t; 1 × 10 jaar
t	=	tijd na begin van de neerslag
P_t	= 0,50 m	toelaatbare peilstijging

Het maatgevende tijdstip is niet bekend en de berekening moet voor verschillende tijdstippen worden uitgevoerd. In fig. 6.30 zijn de uitkomsten weergegeven bij verschillende waarden van de variabelen. De berekening kan met behulp van de regenduurlijn grafisch worden uitgevoerd (fig. 6.31). Bij de berekening is er steeds van uitgegaan dat bij het begin van de bui de berging C en B leeg is. Dit kan beter benaderd worden met gegevens over de opeenvolging van buien [6-1].
Stel de volgende waarden:
$P_{o.k.}$ = 0,7 mm/uur $q_{poldergemaal}$ = 14 mm/etm P_t = 0,50 m

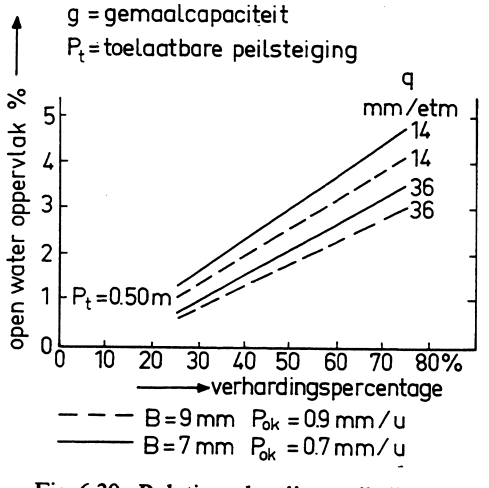


Fig. 6.30. Relatie verharding, peilstijging, capaciteit poldergemaal en oppervlakte open water bij toepassing van een gemengd rioleringsstelsel

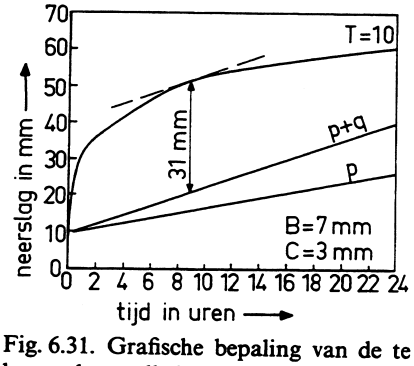


Fig. 6.31. Grafische bepaling van de te bergen hoeveelheid neerslag voor T = 10 jaar, uitgaande van de regenduurlijnen volgens de '5-minutenregens' en een gemengd rioolstelsel.
Berging op straat C = 3 mm,
berging in de riolering B = 7 mm,
pomp-overcapaciteit p = 0,7 mm/h,
capaciteit poldergemaal q = 14 mm/etm.

De norm die de kwalitatieve waterbeheerder stelt ten aanzien van de overstortfrequentie is 10 × per jaar. Uit de Veldkamp-grafiek volgt dat de benodigde rioolberging 7 mm moet bedragen.

Uit fig. 6.31 valt af te leiden dat de belasting op het open water 31 mm over het verharde oppervlak bedraagt. Bij een verhard oppervlak V betekent dit voor het oppervlak open water:

$$0{,}031 \cdot V = 0{,}50\,W - 0{,}048\,W$$

Het benodigde oppervlak van het open water bij een verhardingspercentage van 45% is 308 m^2 per hectare, dus 3%.

De bergingsbenadering wordt ook steeds vaker in hellende gebieden toegepast omdat de versnelde afvoer vanuit het stedelijk gebied zowel boven- als benedenstrooms van de lozing problemen kan veroorzaken. Vooral in de U.S.A. zijn veel 'vertragingsmaatregelen' ontwikkeld om de piek van de afvoer te verlagen [6-4]. Een van de mogelijkheden is dat de watergang via een bergingsvijver (detention pond) loopt, waardoor de afvoer uit de vijver een lagere piek krijgt (fig. 6.32).
Indien de vijver een groot oppervlak heeft ten opzichte van de instroming kan stapsgewijs een waterbalansberekening worden toegepast.

$$\frac{I_1 + I_2}{2} \cdot \Delta t - \frac{O_1 + O_2}{2} \cdot \Delta t = S_2 - S_1$$

I_1 = invoer aan het begin van de tijdstap Δt
I_2 = invoer aan het eind van de tijdstap Δt
O_1 = uitvoer aan het begin van de tijdstap Δt
O_2 = uitvoer aan het eind van de tijdstap Δt
S_1 = berging aan het begin van de tijdstap Δt
S_2 = berging aan het eind van de tijdstap Δt

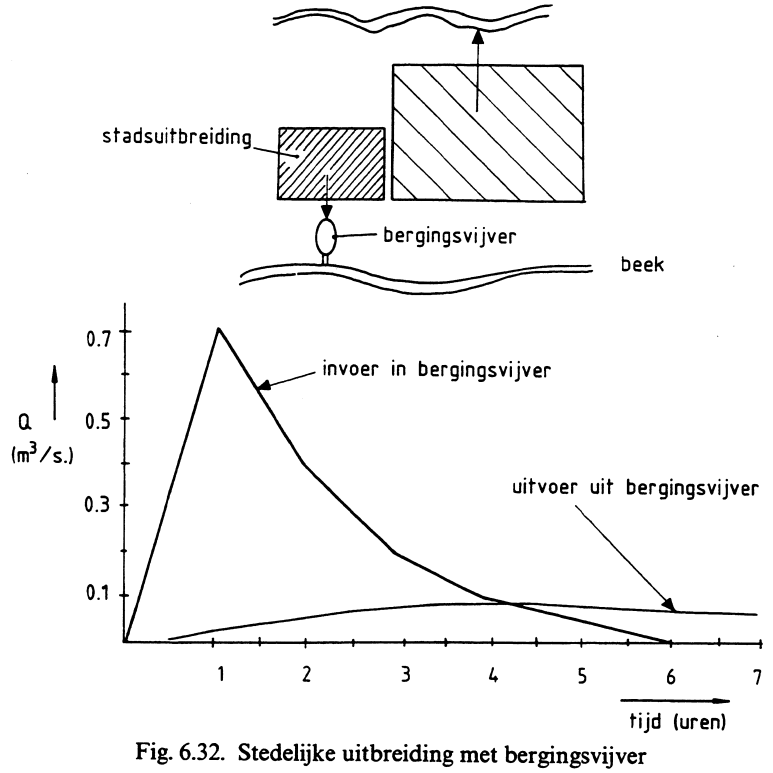


Fig. 6.32. Stedelijke uitbreiding met bergingsvijver

Voorbeeld

Een stedelijke uitbreiding van 40 ha zal een afvoerverloop hebben als aangegeven in fig. 6.32. Om het afvoerregime van de beek waarop geloosd moet worden zo weinig mogelijk te veranderen wordt als eis gesteld dat de maximale afvoer uit het gebied 1,5 l/s ha mag bedragen; dat is 0,06 m^3/s. Besloten wordt een vijver aan te leggen met een oppervlak van 10.000 m^2. Vanuit de vijver vindt afvoer plaats over een stuw met een breedte van 1,00 m. De waterbalansberekening wordt in stappen $\Delta t = 30$ min uitgevoerd. De berekening is weergegeven in tabel 6.7

Tabel 6.7. Waterbalansberekening van een bergingsvijver

tijd (uren)	I (m^3/s)	$I_1 + I_2$ (m^3/s)	(m^3)	$S_2 = I_1 + S_1 - O_1$ (m^3)	$H = \frac{S_1 + S_2}{2 \cdot A}$ (m)	$O = 1{,}7b \cdot H^{3/2}$ m^3/s	m^3
0	0	0	0	0	0	0	0
0,5	0,35	0,175	315	315	0,016	0,002	3
1	0,70	0,525	945	1257	0,079	0,019	34
1,5	0,55	0,625	1125	2348	0,117	0,034	62
2	0,40	0,475	855	3141	0,157	0,053	95
2,5	0,30	0,350	630	3676	0,184	0,067	121
3	0,20	0,25	450	4005	0,20	0,076	137
3,5	0,15	0,175	315	4183	0,209	0,081	146
4	0,10	0,125	225	4262	0,213	0,084	151
4,5	0,08	0,088	158	4269	0,213	0,084	151
5	0,05	0,063	113	4231	0,212	0,083	149
5,5	0,03	0,038	68	4150	0,207	0,080	145
6	0	0,013	23	4028	0,201	0,077	138
6,5				3890	0,195	0,073	131
7				3759	0,188	0,069	125
7,5				3634	0,182	0,066	119
				etc.			etc.

Aan de gestelde eis wordt niet geheel voldaan. Omdat in de berekening geen rekening is gehouden met het talud van de bergingsvijver zal de uitkomst wat gunstiger zijn dan in de berekening is aangegeven; dit is echter toch niet voldoende. De vijver kan groter worden gemaakt of men kan een grotere peilstijging toelaten, waarbij de stuw zodanig veranderd moet worden dat de afvoer bij het hogere peil niet toeneemt.

6.6.4 Stationair-eenparige stromingsberekening

Zoals eerder duidelijk is geworden treedt een stationair-eenparige stroming zelden op, zeker niet in stedelijke gebieden. In de gevallen waarbij het stedelijk open water als bergingsvijver functioneert, vult de berging zich vrij snel: na één tot enkele uren na het begin van de bui is het peil al aanzienlijk gestegen en het maximum peil wordt veelal na 3 tot 9 uur bereikt. Er stelt zich dan een zo goed als stationaire stromingstoestand in. Het voordeel van het stationair rekenen is gelegen in het feit dat de berekening met de hand kan worden uitgevoerd, eventueel gebruik makend van grafieken [6-18] of zakrekenmachines.

De stationair-eenparige berekening wordt uitgevoerd met de formule van Chézy (6.11) of Manning (6.12) (par. 6.6.1). In landelijke gebieden is de procedure als volgt:

- gegeven Q
- kies I, k_m, v_{max}, bodembreedte-waterdiepte-verhouding (b/d) en de taludhelling. Deze onderdelen worden in samenhang gekozen [6-15]. Meestal is minimalisatie van de kosten van grondverzet maatgevend.
- bereken A_s en daarmee b en d
- controleer de snelheid v. Indien v te groot is dan wordt de I kleiner genomen en de procedure herhaald.

In het stedelijk gebied wordt het open water in eerste instantie op berging berekend. Dit gebeurt ook steeds meer in de hellende gebieden. Omdat voor de benodigde berging een groot wateroppervlak nodig is zal voor de afwatering veelal slechts een klein verhang nodig zijn. In verband met de berging is dit gunstig. De singelafstand en het patroon zijn veelal bepaald door andere overwegingen (par. 6.8), zodat de singellengte en daarmee de singelbreedte op de waterlijn zijn vastgelegd. Bij het doorrekenen van de afvoer in de stedelijke waterlopen is het dwarsprofiel dus meestal gegeven.

Voorbeeld 1

Gegeven een stedelijk gebied van 500 bij 1.000 m. De bergingsberekening geeft een benodigd wateroppervlak $W = 386\,m^2$ per hectare, ofwel $W = 19.300\,m^2$ voor het hele stedelijke gebied. De lengte van de singels is 2.050 m' (fig. 6.33) zodat de breedte op de waterlijn 9,40 m bedraagt. Voor de hydraulische berekening is de afvoer bij punt (a) maatgevend en gelijk aan de gemaalcapaciteit: 14 mm/etm = $0{,}08\,m^3/s$.

$Q = A_s \cdot C\sqrt{R \cdot I}$ zodat

$$I = \frac{Q^2}{A_s^2 \cdot C^2 \cdot R} \quad \text{en} \quad Z = I\,l$$

$C = k_m \cdot R^{1/6}$ l = lengte gracht (zie fig. 6.33)

$k_m = 40\,m^{1/3}/s$ zodat $C = 39{,}26\,m^{1/2} \cdot s$

De gegevens ingevuld geeft $Z = 0{,}07$ mm, een te verwaarlozen verval. De snelheid $v = 0{,}009\,m^3/s$ is veel lager dan de maximum toelaatbare snelheid.

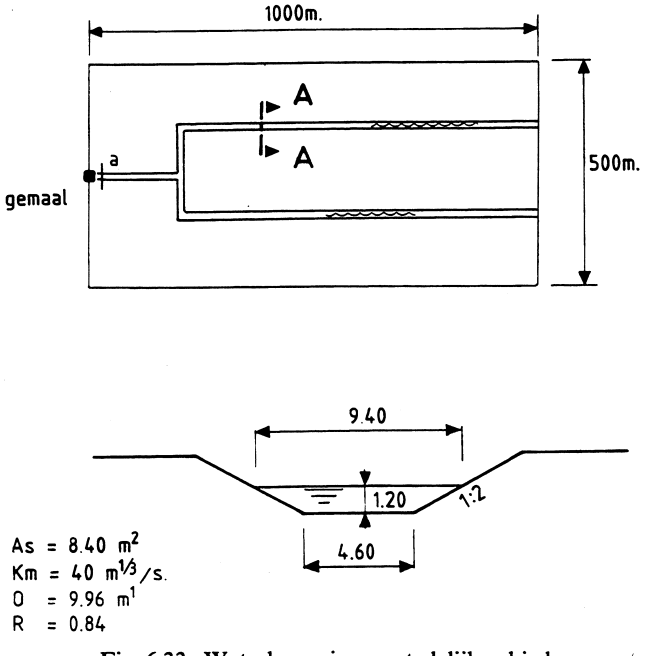


Fig. 6.33. Waterlopen in een stedelijk gebied

Voorbeeld 2 [6-19]

In fig. 6.34 is het waterlopenplan van een stedelijk gebied weergegeven. Het stedelijk gebied mag maximaal de oorspronkelijke landelijke afvoer lozen op de polder, dat is 13 mm/etm = 1,5 l/s·ha. De bergingsberekening geeft bij een gegeven wateroppervlak (het singelprofiel) een maximale peilstijging van 0,26 m.

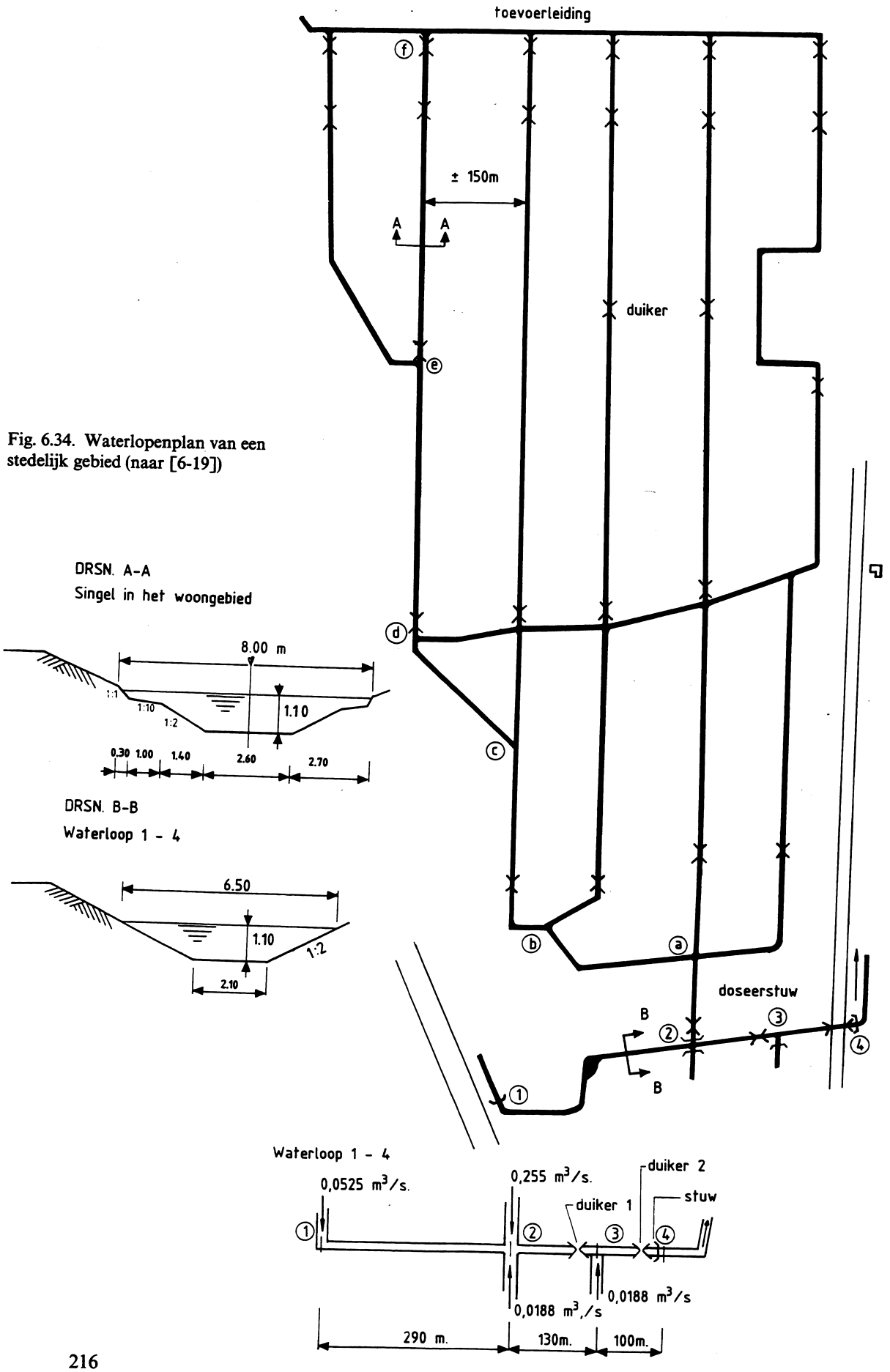


Fig. 6.34. Waterlopenplan van een stedelijk gebied (naar [6-19])

Het stedelijk gebied, een snelweg en een groengebied lozen op watergang 1-4

- afvoer van de snelweg 35 ha × 1,5 l/s · ha = 0,0525 m³/s
- afvoer stedelijk gebied 170 ha × 1,5 l/s · ha = 0,255 m³/s
- afvoer groengebied 25 ha × 1,5 l/s · ha = 0,0376 m³/s

totaal = 0,345 m³/s

$Q = A_s \cdot C\sqrt{R \cdot I}$ zodat

$$I = \frac{Q^2}{A_s^2 \cdot C^2 \cdot R}$$

$A_s = 4{,}73\,\text{m}^2$
$O = 7{,}02\,\text{m}'$
$R = 0{,}674$
$k_m = 30\,\text{m}^{1/3}/\text{s}$
$C = k_m \cdot R^{1/6}$ $C = 28\,\text{m}^{1/2} \cdot \text{s}$
$A_s^2 \cdot C^2 \cdot R = 11.822$

Voor duiker geldt:

$Q = \mu A_s\sqrt{2 \cdot g \cdot Z}$ zodat

$$Z = \frac{Q^2}{(\mu A_s)^2 \cdot 2 \cdot g}$$

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{\xi_i + \xi_w + \xi_u}}$$

$\xi_i = 0{,}69$
$\xi_w = \lambda \cdot 1$ $\xi_w = 0{,}03 \times 25 = 0{,}75$
$\xi_u = 0{,}45$
$\mu = 0{,}73$
$A_s = 1/4 \cdot \pi \cdot D^2$ $A_s = 0{,}78 \cdot (1{,}00)^2 = 0{,}785$

Het totale verval $\sum Z$ in de watergang 1–4 bedraagt nu:

deel 1–2 $Z_{1-2} = \dfrac{(0{,}0525)^2}{11.822} \times 290 = 0{,}07\,\text{mm}$; $v = 0{,}011\,\text{m/s}$

deel 2–3 $Z_{2-3} = \dfrac{(0{,}326)^2}{11.822} \times 130 = 1{,}17\,\text{mm}$; $v = 0{,}068\,\text{m/s}$

deel 3–2 $Z_{3-2} = \dfrac{(0{,}345)^2}{11.822} \times 100 = 1{,}00\,\text{mm}$; $v = 0{,}072\,\text{m/s}$

duiker-1 $Z_{d.1} = \dfrac{(0{,}326)^2}{(0{,}785 \times 0{,}73)^2} \times \dfrac{1}{19{,}6} = 16\,\text{mm}$

duiker-2 $Z_{d.2} = \dfrac{(0{,}345)^2}{(0{,}785 \times 0{,}73)^2} \times \dfrac{1}{19{,}6} = 18\,\text{mm}$

$\sum Z = 0{,}036\,\text{mm}$

In verband met het beperken van de opstuwing van het waterpeil in het stedelijk gebied is in de waterloop 1–4 het maximaal toelaatbare verval ten gevolge van de stroming op 0,10 m gesteld, zodat voor de stuw een verval $Z = 0{,}064$ resteert:

$Q = 1{,}79\,b\,H^{3/2}$

$$b = \frac{(0{,}345)^2}{1{,}79 \times (0{,}064)^{3/2}} = 11{,}80\,\text{m}$$

De breedte van de stuw wordt aangenomen op 12,00 m

De hydraulische berekening van de stedelijke singels
De singel a–f voert de grootste hoeveelheid water af en wordt daarom doorgerekend (tabel 6.8).
Het verval bij de maatgevende afvoer blijkt 0,046 m te bedragen.

Ook is nagegaan wat het maximale verval in de watergang is indien de overige watergangen in zuidelijke richting volledig geblokkeerd zijn. Het verval bedraagt dan 0,066 m.

Tabel 6.8. Hydraulische berekening van singel a–f (fig. 6.34)

		lengte (m)	$Q \times 10^{-3}$ (m^3/s)	$\frac{1}{A_s^2 \cdot 2 \cdot g}$	$\frac{1}{A_s^2 \cdot C \cdot R} \times 10^{-6}$	$Z \times 10^{-6}$ (m)
f	duiker ∅ 600	25	2	1,22		4,9
	waterloop	100	5		57,6	0,1
	duiker ∅ 600	50	7	1,69		82,8
	waterloop	335	13		57,6	3,3
e	duiker ∅ 600	25	20	1,22		488,0
	waterloop	400	60		57,6	82,9
d	duiker ∅ 600	25	65	1,22		5.154,5
	waterloop	200	70		57,6	56,4
	waterloop	200	115		57,6	152,4
c	duiker ∅ 800	25	115	0,38		5.025,5
	waterloop	100	115		57,6	76,2
b	waterloop	165	165		57,6	258,7
	waterloop	100	255		57,6	374,5
a	duiker ∅ 800	50	255	0,53		34.463,3
						$\sum Z = 46.223,5$

Duikers: gegevens als in voorgaande berekening; waterlopen: gegevens in fig. 6.34

6.7 Waterkwaliteit

In het voorgaande is als uitgangspunt voor het ontwerp van het open water de afvoer en berging besproken. In verband met de andere functies speelt echter ook de *kwaliteit* van het water een belangrijke rol. Dit geldt met name voor de recreatieve en esthetische functie en voor de ecologische functie. Het is nodig het water zo te ontwerpen dat het een zodanige kwaliteit bezit dat de toegekende functies mogelijk zijn. Aan de functies zijn eisen verbonden ten aanzien van een groot aantal parameters, bijvoorbeeld:
- de hygiënische kwaliteit,
- de zuurstofhuishouding,
- toxische stoffen,
- trofiegraad,
- helderheid, doorzicht.

De eisen zijn omgezet in normen (tabel 6.3). De werkelijke waterkwaliteit is het gevolg van de lozingen die op het water plaatsvinden en van de processen in het water. De lozingen op het stedelijk open water betreffen de overstortingen uit het gemengde rioolstelsel of de afvoer uit het regenwaterriool van het gescheiden stelsel. Daarnaast zijn nog andere vervuilingsbronnen te onderscheiden (fig. 6.35). De processen in het water zijn chemische, fysische en biologische processen, die zich in het oppervlaktewater en in de bodem afspelen. De toetsing van de aanwezige kwaliteit aan de gewenste kwaliteit levert een beoordeling van het water en kan aanleiding zijn tot verbeteringsmaatregelen, òf, indien nog in de ontwerpfase, tot een andere ontwerp (fig. 6.36).
De keuze van het type rioolstelsel behoort plaats te vinden op basis van kostenoverwe-

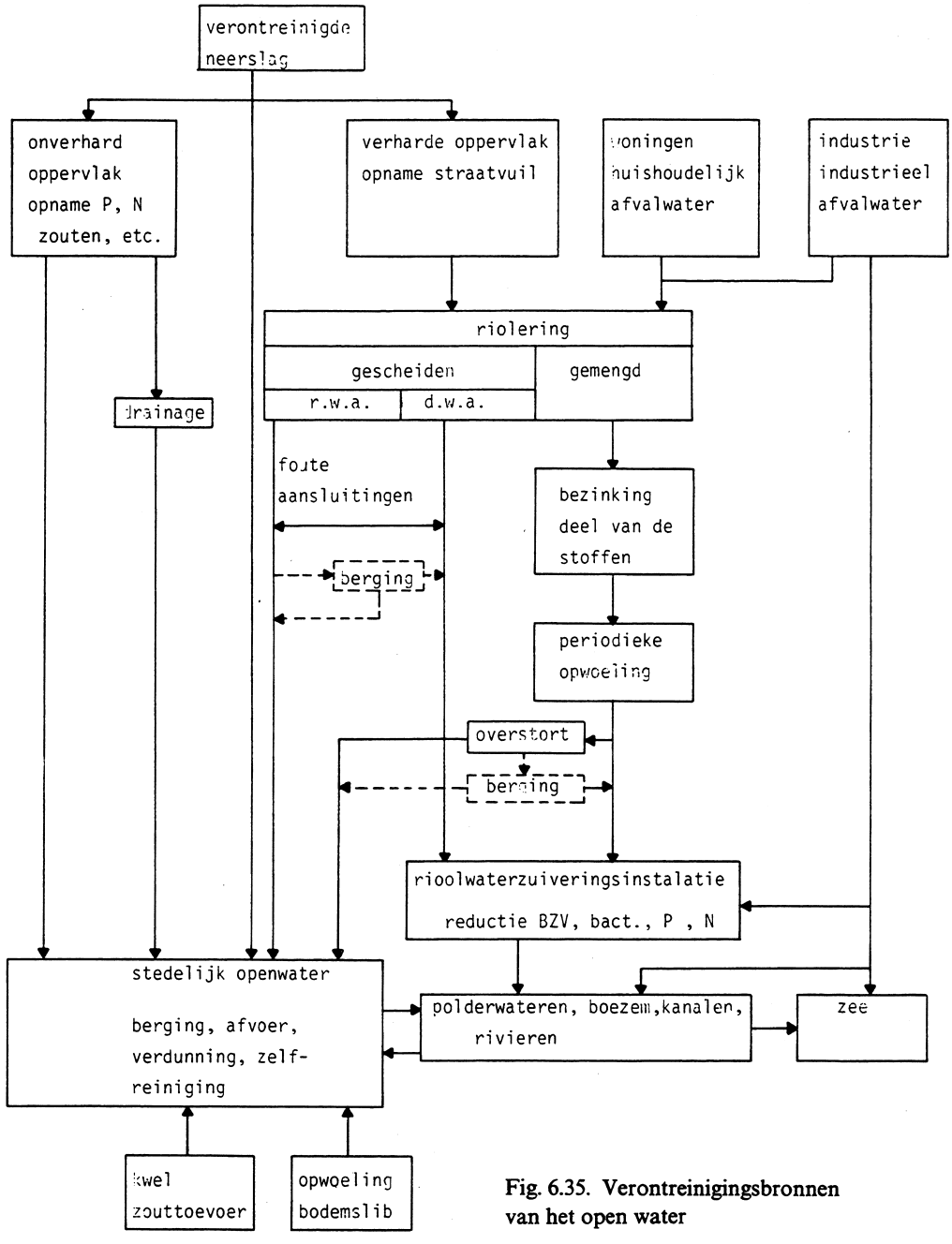


Fig. 6.35. Verontreinigingsbronnen van het open water

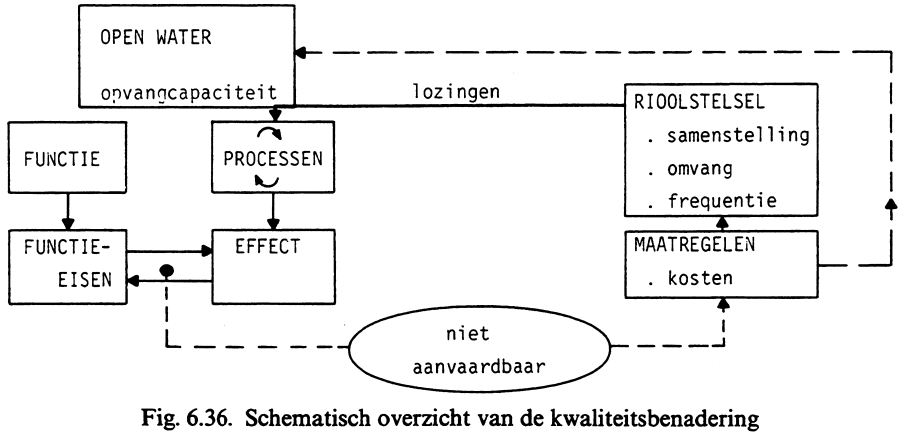


Fig. 6.36. Schematisch overzicht van de kwaliteitsbenadering

gingen en een inschatting van de waterkwaliteit. Veelal wordt er van uitgegaan dat een gescheiden stelsel minder verontreiniging met zich mee voert dan het gemengde stelsel. Hierover lopen de meningen echter uiteen. Er is een verscheidenheid aan benaderingswijzen ontstaan [6-20, 6-21, 6-22, 6-23].
Bij het gemengde stelsel wordt de overstortingsfrequentie mede bepalend geacht voor de verontreiniging van het open water. In verband met de gewenste verbetering van het milieu bestaat de neiging de vereiste overstortingsfrequentie te verlagen, ervan uitgaande dat er dan gemiddeld minder vuil per jaar geloosd wordt. Daar staat de gedachte tegenover dat vooral de enkele grote buien de waterkwaliteit bepalen: verlaging van de overstortingsfrequentie heeft dan weinig effect op de kwaliteit en werkt alleen kostenverhogend.

In het kader van dit boek wordt niet uitgebreid ingegaan op het onderwerp waterkwaliteit [6-12, 6-24, 6-25]. Hier wordt ingegaan op de bepaling van het benodigde volume aan oppervlaktewater in verband met de waterkwaliteit. De functie-eis die in dit betoog centraal staat is de zuurstofhuishouding.
Bij het bepalen van het benodigde volume aan open water in het stedelijk gebied wordt hier uitgegaan van de BZV-belasting. Dit sluit aan bij de stand van ontwikkeling van vuillozingsmodellen, waarbij de overige vervuilende stoffen zoals nitraten, fosfaten en zware metalen minder kwalijk geacht worden voor de zuurstofhuishouding. Het biochemisch zuurstofverbruik (BZV) is de hoeveelheid zuurstof in mg die nodig is om door middel van bacteriën de biochemisch oxydeerbare bestanddelen aanwezig in 1 liter water te mineraliseren [6-12]. Het geeft een indruk van de in het water aanwezige organische koolstofverbindingen. De proef wordt uitgevoerd bij 20°C gedurende 5 dagen en wordt dan aangeduid als BZV_5^{20}.
Met behulp van omrekeningsfactoren kan de omzetting bij andere temperaturen gedurende andere tijdsperioden worden uitgerekend. Aangenomen wordt dat 1 persoon in 1 dag een hoeveelheid vuil produceert met een BZV van 54 gram.

De kwaliteit van het water tijdens en na een overstort wordt bepaald door een groot aantal factoren. Omdat hier de zuurstofhuishouding beschouwd wordt, zijn deze factoren te onderscheiden in [6-26]:
1. factoren die bepalend zijn voor de vuillozing,
2. factoren die bepalend zijn voor de verdunning,
3. factoren die bepalend zijn voor de zelfreiniging.

ad 1. Vuillozingsmodellen zijn bedoeld om de overstortende BZV-hoeveelheid vast te stellen. Door Eggink en Hulshof [6-27], Huiswaard [6-28], Wiggers [6-20], Wensveen [6-26] en Van den Herik [6-29] zijn hiervoor benaderingswijzen ontwikkeld, veelal op elkaar voortbouwend. In fig. 6.37 zijn de van belang zijnde factoren en hun onderlinge relaties schematisch en vereenvoudigd weergegeven.
Vooral de hoeveelheid opgewoeld rioolslib, dat in de aan de bui voorafgaande droogweerperiode bezonken is, is van groot belang. In fig. 6.38 is een relatie weergegeven tussen het percentage bezonken rioolslib dat tijdens overstorten uit het riool spoelt en de som van de overstortingshoeveelheid en de door het rioolgemaal verpompte hoeveelheid water [6-29]. De hoeveelheid tijdens de droogweerperiode bezonken slib wordt geschat op 10% van een inwonersequivalent per dag droog weer. De duur van de maatgevende droogweerperiode wordt vaak gesteld op 10 dagen.
De BZV-hoeveelheid ten gevolge van het meespoelen van straatvuil bij neerslag wordt door Huiswaard geschat op 10 gram per inwoner. Van den Herik gaat uit van 20 gram per m^3 neerslag en Wiggers varieert dit van 10 tot 30 gram per m^3 neerslag. De BVZ-hoeveelheid ten gevolge van afvalwater is 54 gram per dag. Er wordt veelal mee gerekend dat 10% van de dagproduktie aan BZV in 1 uur in het rioolstelsel komt.

ad 2. De BZV-concentratie na verdunning is afhankelijk van:
- de voor de overstorting aanwezige BZV-concentratie van het ontvangende water (C_w),
- de vóór de overstorting aanwezige waterhoeveelheid (V_w),
- de overstortende BZV-hoeveelheid (W_o),
- de overstortende hoeveelheid water (V_o).

Als de maximaal toelaatbare BZV-concentratie na verdunning C_o is, dan geldt bij totale menging:

$$C_o = \frac{W_o + V_w \cdot C_w}{V_o + V_w} \tag{6.23}$$

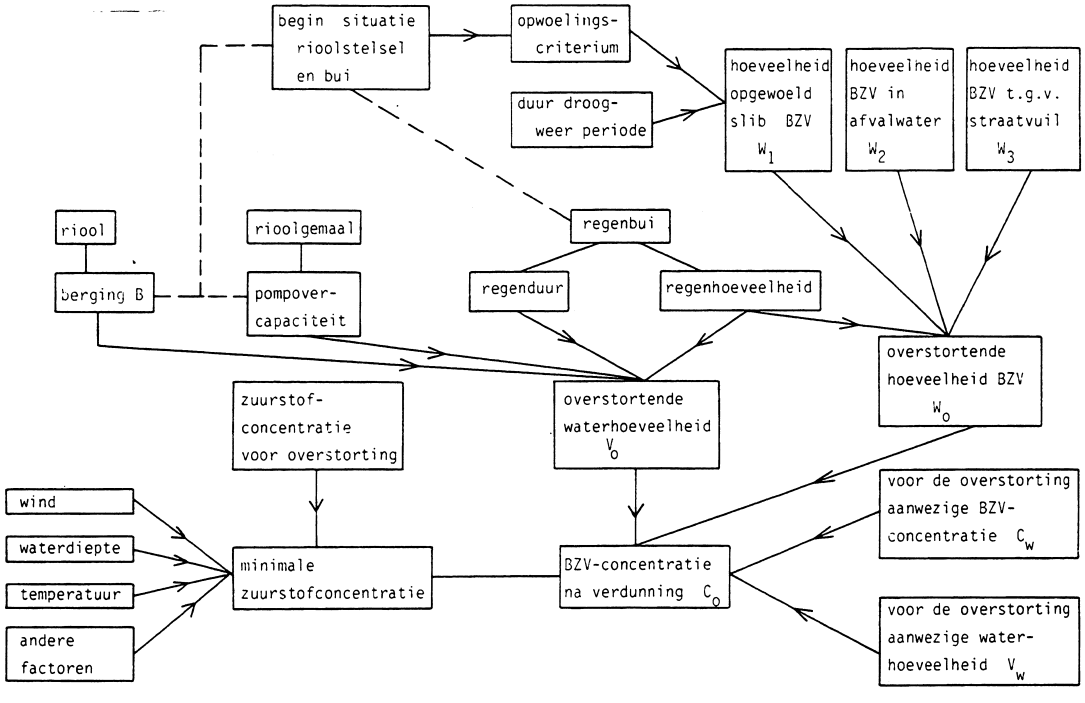


Fig. 6.37. Overzicht van factoren die de zuurstofconcentratie na een overstort bepalen [6-26]

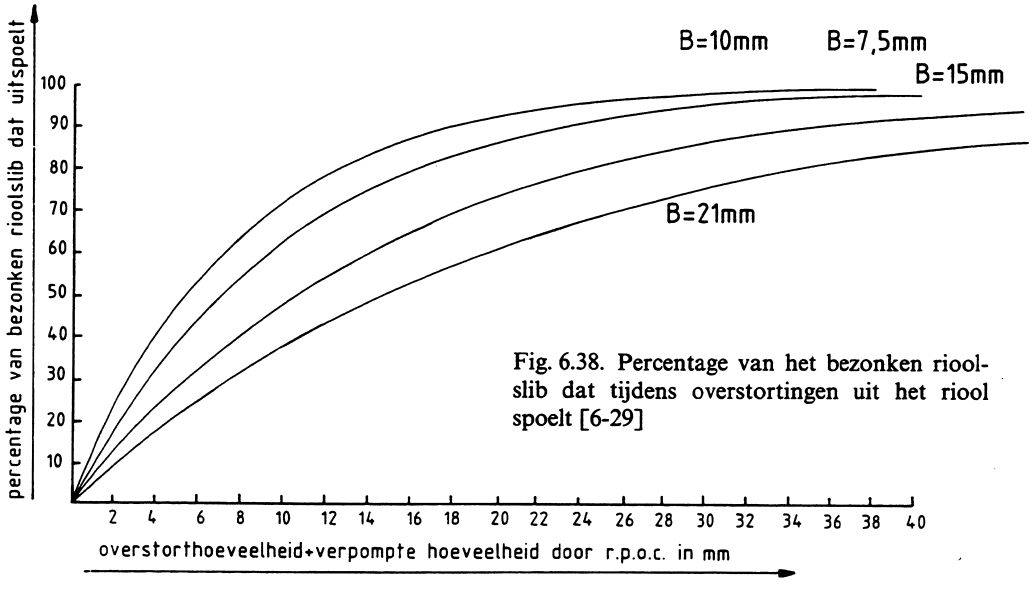


Fig. 6.38. Percentage van het bezonken rioolslib dat tijdens overstortingen uit het riool spoelt [6-29]

ad 3. Ten gevolge van afbraak van organische stof daalt de zuurstofconcentratie in het open water. Dit proces wordt veelal beschreven met een door Streeter en Phelps ontwikkeld model. Verondersteld wordt dat de afbraak van organische stof (BZV) exponentieel verloopt. De daarvoor benodigde zuurstofonttrekking aan het water verloopt dus ook exponentieel. De snelheid van de zuurstofaanvulling (reaëratie) uit de atmosfeer is evenredig met het zuurstoftekort. Bovengenoemde processen zijn weergegeven in fig. 6.39.

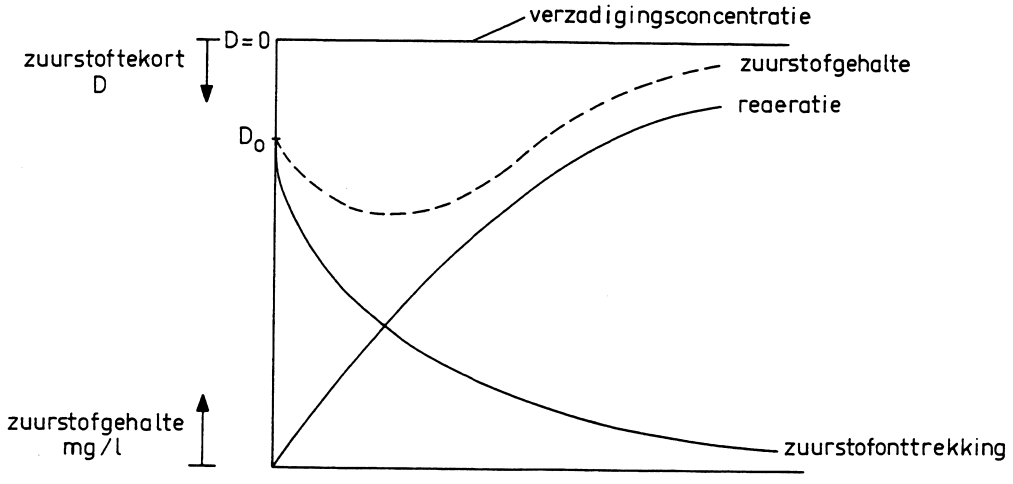


Fig. 6.39. Verloop van de zuurstofconcentratie in een rivier die belast wordt met zuurstofonttrekkende stoffen

In vereenvoudigde vorm weergegeven is het zuurstoftekort:

$$D_t = C_o \frac{k_b}{k_d - k_b}(e^{-k_b t} - e^{-k_d t}) + D_o \cdot e^{-k_d t} \qquad (6.24)$$

D_t = zuurstoftekort ($g \cdot O_2 \cdot m^{-3}$)
D_o = zuurstoftekort vlak voor de lozing ($g \cdot O_2 \cdot m^{-3}$)
C_o = toelaatbare BZV-concentratie ($g\ BZV_{20}^{20} \cdot m^{-3}$)
k_b = biochemische afbraakconstante (dag^{-1})
k_d = reaëratieconstante (dag^{-1})

In fig. 6.40 is het verloop van de BZV-concentratie (C) en het zuurstoftekort (D) weergegeven. Het maximale zuurstoftekort D_m kan nu berekend worden. Door invoe-

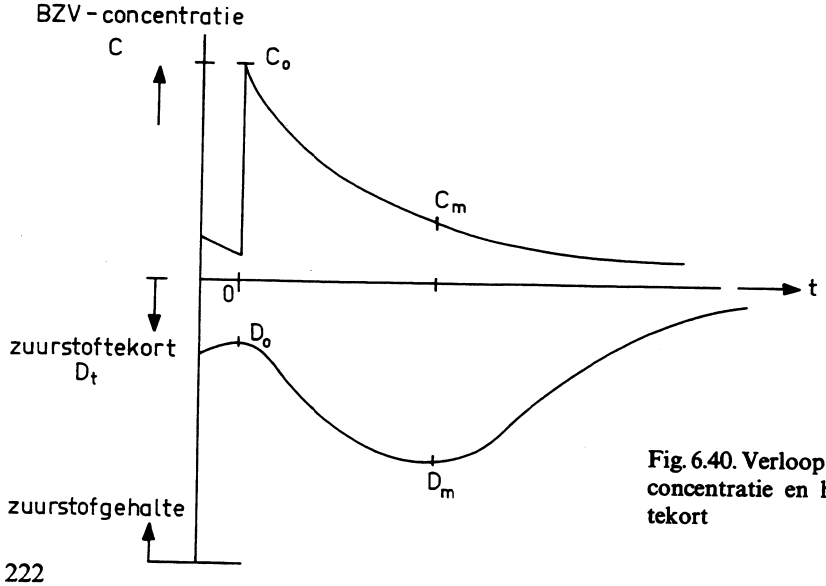


Fig. 6.40. Verloop van de BZV-concentratie en het zuurstoftekort

ring van de zelfreinigingsfactor $f = \frac{k_d}{k_b}$ wordt D_m:

$$D_m = \frac{C_o}{f}\left[f\left\{1-(f-1)\frac{D_o}{C_o}\right\}\right]^{\frac{1}{1-f}} \tag{6.25}$$

In deze formule is een verband aangegeven tussen D_m en C_o, met andere woorden, uitgaande van een bepaald maximaal zuurstoftekort D_m kan de maximale BZV-belasting (C_o) worden berekend. Aangezien C_o mede bepaald wordt door de hoeveelheid open water (V_w) kan op deze wijze het benodigde volume open water worden bepaald. Door Fair is een grafiek samengesteld waaruit de verhouding C_o/D_m is af te lezen bij een bepaalde f en een bepaalde verhouding van D_o en D_m (fig. 6.41). Waarden voor de zelfreinigingsfactor zijn gegeven in tabel 6.9. De in de tabel gegeven waarde voor kleine vijvers is te laag voor toepassing bij singels in Nederland omdat de cijfers gebaseerd zijn op windstil weer en verontreinigd water. De factoren k_d en k_b zijn onder meer afhankelijk van de temperatuur, de waterdiepte en de stroomsnelheid.

Tabel 6.9. De zelfreinigingsfactor f

kleine vijver	0,5 – 1,0
groot meer	1,0 – 1,5
langzaam stromende rivier	1,5 – 2,0
grote rivier	2,0 – 3,0
snel stromende rivier	3,0 – 5,0
stroomversnelling	5,0 – 25,0

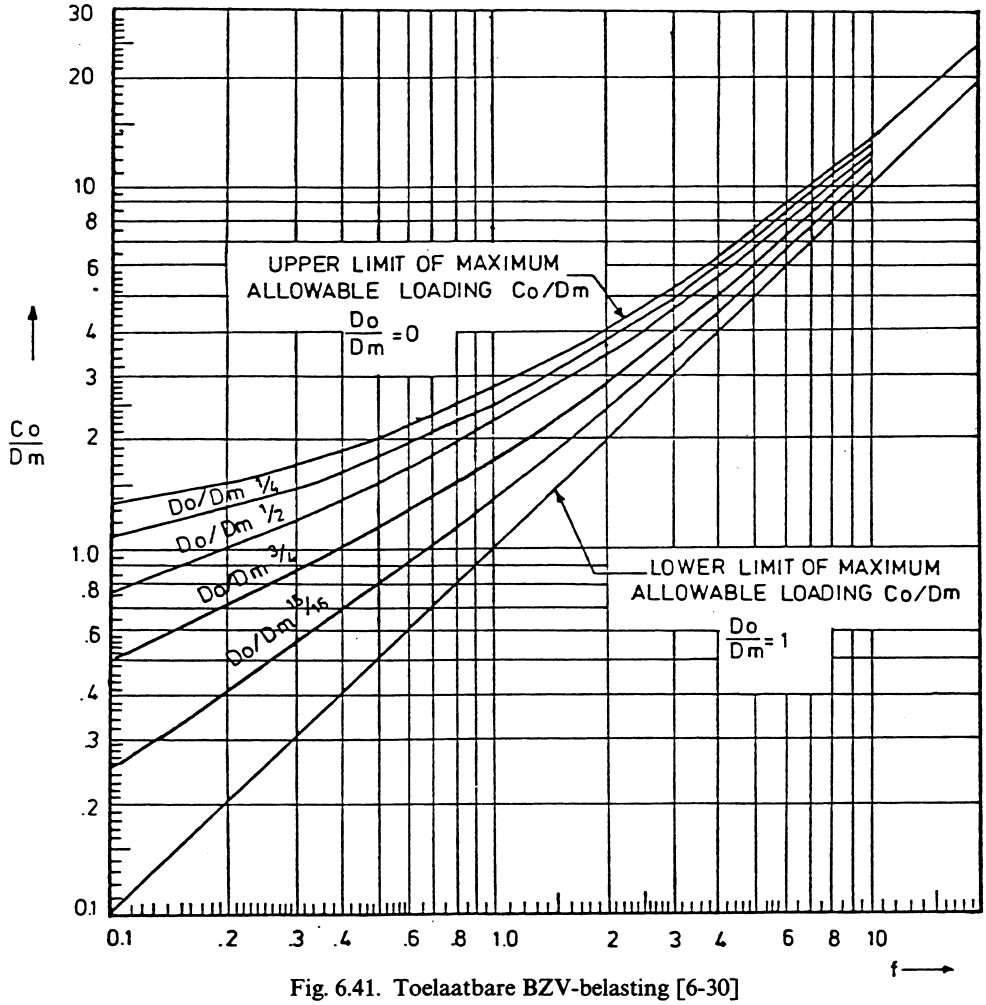


Fig. 6.41. Toelaatbare BZV-belasting [6-30]

Berekeningsvoorbeeld (aangepast, volgens [6-29])
Bij een temperatuur van 20 °C is de zuurstofverzadigingswaarde 9,2 g $O_2 \cdot m^{-3}$. Als criterium wordt gehanteerd dat vispopulaties schade ondervinden bij een zuurstofgehalte lager dan 5 g $O_2 \cdot m^{-3}$ (tabel 6.3). Dit geeft:

$D_m = 9{,}2 - 5 = 4{,}2$ g $O_2 \cdot m^{-3}$

Aangenomen wordt dat de BZV-concentratie voor de overstorting 5 g $BZV_5^{20} \cdot m^{-3}$ en het zuurstofgehalte direct na de overstorting 7 g $O_2 \cdot m^{-3}$ bedraagt. Dit geeft:

$D_o = 9{,}2 - 7 = 2{,}2$ g $O_2 \cdot m^{-3}$, dus $D_o/D_m = 0{,}52$.

De zelfreinigingsfactor $f = 2$. Uit fig. 6.41 blijkt dat $C_o/D_m = 3{,}5$. Aangezien $D_m = 4{,}2$ wordt $C_o = 14{,}7$ g $BZV_{20}^{20} \cdot m^{-3}$.

Gegeven is het rioolstelsel met een berging $B = 9$ mm en een pompcapaciteit $q_p = 0{,}7$ mm $\cdot h^{-1}$. De berging op straat $C = 3$ mm.
De overstorthoeveelheid die 1 maal per 10 jaar kan worden overschreden is 22 mm per hectare afvoerend oppervlak in 1 uur (maatgevend) [6-1]. De vuilbelasting uit dit rioolstelsel bedraagt:
– opgewoeld bezonken slib. De BZV-produktie per inwoner per dag is 54 g BZV. Bij 10% bezinking per dag en een droogweerperiode van 10 dagen is er 54 g BZV per inwoner bezonken. Volgens fig. 6.38 verdwijnt 90% van dit bezonken rioolslib uit dit stelsel. Per inwoner stort over:

$$\frac{22}{22{,}7} \times 0{,}90 \times 54 = 47{,}1 \text{ g } BZV_5^{20}$$

De resulterende vuillast is:

W_1 = aantal inwoners × 47,1 g BZV_5^{20}

– BZV in de vuilwaterafvoer. Er wordt meer gerekend dat 10% van de dagproduktie aan BZV in 1 uur in het stelsel komt. Dit is dus 5,4 g BZV_5^{20} per inwoner. Hiervan stort 22/22,7 over. De resterende vuillast is dan:

W_2 = aantal inwoners × 5,2 BZV_5^{20}

– Aangenomen wordt dat de concentratie in het aangevoerde regenwater ten gevolge van meespoelen van vuil op wegen 20 g BZV per m^3 overstortwater bedraagt. De resulterende vuillast bedraagt:

$W_3 = V_o \times 20$ g BZV_5^{20}

Er wordt van uitgegaan dat opwoeling van slib op de bodem van de watergang niet plaats vindt door goed onderhoud van de watergangen en door de lage stroomsnelheid van het water. Volgens de grondgebruikgegevens van par. 9.4 bedraagt het verhard oppervlak samen met de bebouwing ongeveer 130 m^2 per woning; dit betekent 50 m^2 per inwoner. Per inwoner is de overstortingshoeveelheid $V_o = 22 \times 10^{-3} \times 50 = 1{,}1$ m^3 en de BZV-last 22 gram.

De totale vuilbelasting per inwoner bedraagt:

– rioolslib	47,1 g BZV
– droogweerafvoer	5,2 g BZV
– neerslag	22 g BZV
	73,4 g BZV_5^{20}

De BZV_5^{20} wordt omgezet naar BZV_{20}^{20} door vermenigvuldiging met een factor [6-12].
74,3 g $BZV_5^{20} = 1{,}45 \times 74{,}3 = 108$ g BZV_{20}^{20}

Het benodigde volume open water bedraagt nu:

$$C_o = \frac{W_o + V_w \cdot C_w}{V_o + V_w}$$

$$14{,}7 = \frac{108 + V_w \cdot 5}{1{,}1 + V_w} \qquad V_w = 9{,}5\,m^3 \text{ per inwoner}$$

Bij 100 à 120 inwoners per hectare betekent dit 950 à 1150 m^3 water per hectare. Bij de aannamen zoals hierboven genoemd is het benodigde bergend oppervlakte 300 m^2 water per hectare woongebied (par. 6.6.3, fig. 6.30). Bij een gangbaar profiel als fig. 6.42.a is 216 m^3 water per hectare beschikbaar. Het profiel moet dus breder of dieper worden, of de vuiluitworp van de overstorting moet worden verminderd of de aanvangskwaliteit van het water moet worden verbeterd. Indien van een vergelijkbare lengte gracht wordt uitgegaan, als bij fig. 6.42.a, dan moet een gracht gerealiseerd worden met een nat profiel van ongeveer 32,5 m^2, dus ongeveer als fig. 6.42.b.

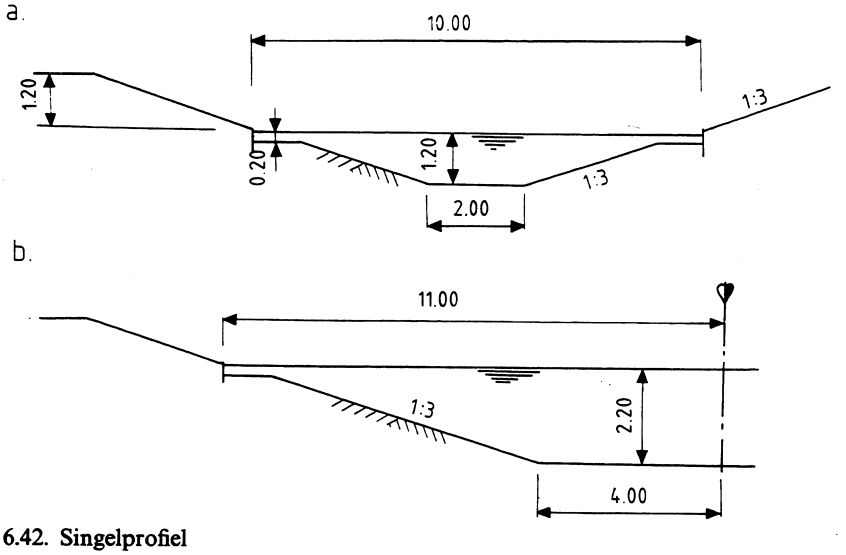


Fig. 6.42. Singelprofiel
a. benodigd in verband met berging;
b. benodigd in verband met waterkwaliteit (voorbeeld berekening).

Bij aanname dat het zuurstofgehalte niet lager mag worden dan 3 mg/l, zodat net geen vissterfte optreedt, wordt $D_m = 6{,}2$ en $C_o = 21{,}7$ g BZV.
Het benodigde volume water wordt dan $V_w = 5\,m^3$ per inwoner en 500 à 600 m^3 per hectare. Dit is nog altijd ruim twee maal zoveel als nodig is ten behoeve van de berging. Als alternatieven voor de benodigde grote hoeveelheid water kunnen worden overwogen [6-31]:
- een bergbezinkbassin,
- een opslag/zuiveringsbassin aangeplant met biezen,
- een extra pomp-overcapaciteit op het rioolstelsel.

Een afweging op basis van waterkwaliteit en kosten moet in de keuze de doorslag geven. In de genoemde studie is het opvallend dat van de alternatieven het biezenveld de grootste reductie in de vuiluitworp geeft met de laagste kosten.

Ter verbetering van de waterkwaliteit kunnen de volgende maatregelen worden toegepast:
- het voorkómen van inspoelen van bijvoorbeeld gras en bladeren in zowel riolering als open water; regelmatig schoonvegen van straten;
- het regelmatig schoonspoelen van de riolen, vooral in de zomer;

- het gunstig situeren van de overstort in het rioolstelsel en aan het open water en het toepassen van bepaalde overstortconstructies;
- het toepassen van bezinkbassins of retentiebekkens;
- het toepassen van riet- en biezenvelden en andere water- en oeverplanten;
- het regelmatig baggeren van de watergangen;
- het zoneren of compartimenteren van het open water;
- het aanbrengen van een verversingssysteem (doorspoelsysteem).

6.8 Grachtafstand en grachtpeil

6.8.1 De grachtafstand

De bepaling van de grachtafstand is een optimaliseringsprobleem: er zijn voordelen en nadelen aan een bepaalde grachtafstand. Sommige van de van invloed zijnde factoren zijn weegbaar, andere niet. Een kleinere grachtafstand geeft, bij hetzelfde noodzakelijke oppervlakte open water, meer grachten, die dan smaller zijn.

Nadelen van een kleine grachtafstand zijn:
- meer grondverzet. Het dwarsprofiel neemt niet evenredig af met de grachtafstand;
- meer bruggen en andere kunstwerken;
- meer grondverlies. Als het water als onderdeel van het toch noodzakelijke groen wordt beschouwd, behoeft dit niet zo'n grote rol te spelen;
- meer onderhoud en mogelijk duurder onderhoud, bijvoorbeeld achter woningen;
- meer verdrinkingsrisico, ervan uitgaande dat dit risico groter wordt als er meer open water in de directe woonomgeving aanwezig is.

De voordelen van een kleine grachtafstand zijn:
- kleinere diameter regenwaterriool en een ondiepe ligging, waardoor minder grondverzet, dus goedkoper;
- kleine doorsnede drains. Dit telt nauwelijks mee, omdat de kleinste maat meestal wel voldoende is. Wel is de overgang op een samengesteld drainagesysteem van invloed (hoofdstuk 5);
- kleinere kans op verstoring van de drains;
- eenvoudiger onderhoud van de drainage.

Door Heynis [6-32] zijn de kosten voor aanleg en onderhoud van drainage, regenwaterriolering en grachten berekend bij verschillende grachtafstanden. Bij een grachtpeil van 1,80 m beneden maaiveld en bij de in de studie aangenomen prijzen is de conclusie dat grachtafstanden kleiner dan 400 m tot exceptioneel hoge kosten leiden. Grachtafstanden groter dan 400 m geven een lichte stijging van de kosten te zien. In fig. 6.43 zijn de kosten van aanleg en onderhoud weergegeven. Fig. 6.44 geeft de kosten van aanleg en onderhoud afzonderlijk. Andere studies geven voor andere grachtpeilen, mits dieper dan 1,20 m beneden maaiveld, hetzelfde verloop van de totale kosten [6-33, 6-34].

6.8.2 Gracht- en singelpeil

Ook het bepalen van het grachtpeil is een optimaliseringsproces. Er is een relatie tussen grachtpeil en de kosten van civiel-technische werken voor de volgende elementen:
- vuilwaterriolen, overstortdrempelhoogte,
- regenwaterriolen,
- kunstwerken,
- wegen, openbaar vervoersbaan,
- fiets- en voetgangersroute,
- drainage,
- waterlopen.

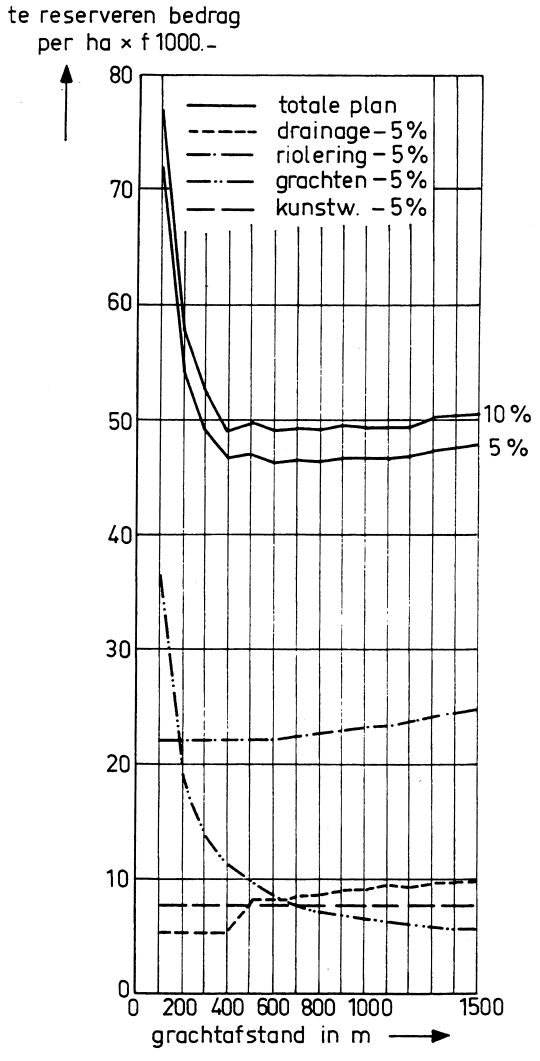


Fig. 6.43. Relatie tussen de grachtafstand en het benodigde bedrag voor aanleg en onderhoud van het ontwaterings- en afwateringssysteem. Afschrijvingstermijn 30 jaar en rentepercentage 5 en 10% [6-32]

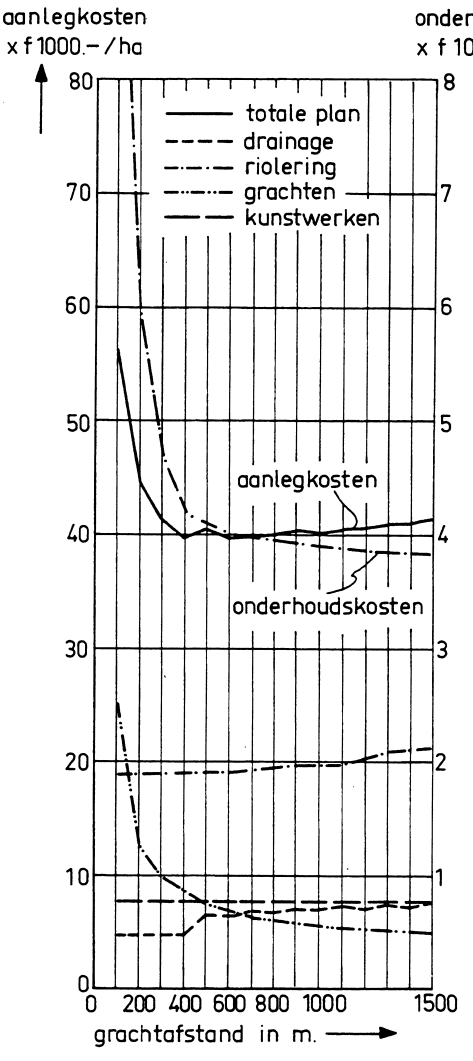


Fig. 6.44. Relatie tussen de grachtafstand en aanlegkosten en onderhoudskosten [6-32]

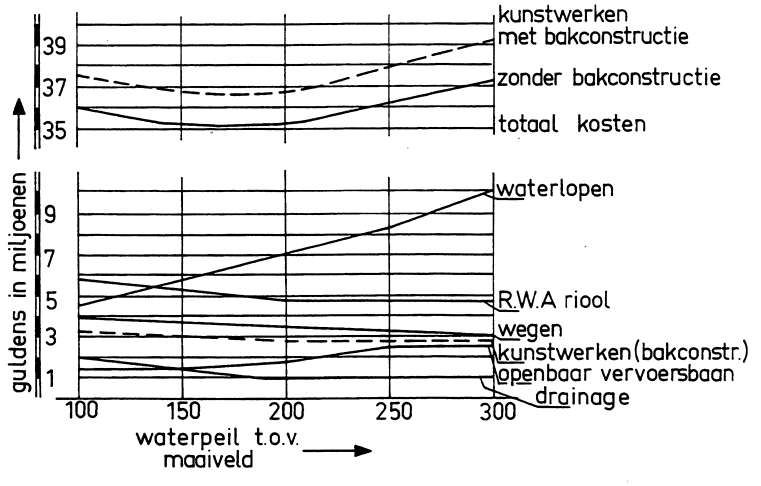


Fig. 6.45. Relatie grachtpeil en kosten voor Almere-haven. Bruto-oppervlakte stedelijk gebied 400 ha.

Bij variatie van het peil in de waterlopen variëren de kosten van genoemde elementen. In fig. 6.45 zijn de resultaten van een studie naar de kostenrelatie weergegeven. Deze gegevens moeten vooral gezien worden als voorbeeld van een benadering; er kunnen geen algemene conclusies worden getrokken [6-33].

In bepaalde omstandigheden kan een te diep polderpeil problemen veroorzaken door vergroting van de kwel (par. 3.2.5). Zowel de vergroting van de waterbelasting als de zoutbelasting kunnen grenzen stellen aan de diepte van het peil. Ook kan een eventueel opbressen van de bodem een dusdanige verlaging van de waterspanning in het samengedrukte pakket teweeg brengen dat extra zettingen optreden, met name ook na de bouwfase, met alle kostenconsequenties van dien (zie par. 4.3.2). Om opbressen te voorkomen kan het zogenaamde grensgrachtpeil worden vastgesteld. Het grensgrachtpeil is gedefinieerd als het waterpeil waarbij juist geen opbressing van de bodem plaatsvindt.

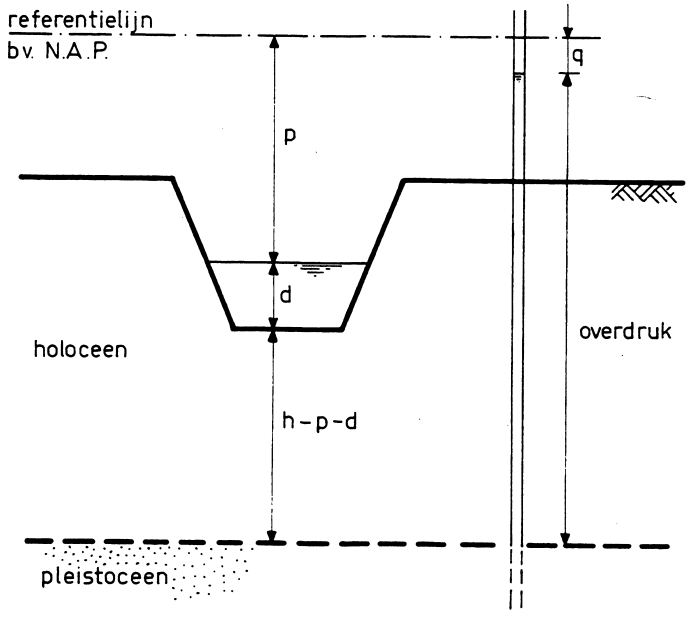


Fig. 6.46. Schematisch profiel in verband met de berekening van het grensgrachtpeil

Het grensgrachtpeil kan als volgt worden berekend (fig. 6.46):

$$(h - q)\,\gamma_w = d \cdot \gamma_w + (h - p - d)\,\gamma_n$$

$$p = \left(1 - \frac{\gamma_w}{\gamma_n}\right)(h - d) + \frac{q \cdot \gamma_w}{\gamma_n}$$

$h - q$ = overdruk
$d \cdot \gamma_w$ = gewicht water
$(h - p - d)\,\gamma_n$ = gewicht bodem

Wil men een waterpeil dieper instellen dan het grenspeil, dan moeten maatregelen worden getroffen om het opbressen tegen te gaan. Een of andere vorm van bodemafsluiting kan de oplossing brengen, zij het tegen vaak hoge kosten.
Vergroting van de kwel naar het stedelijk gebied kan ook buiten het stedelijk gebied problemen geven, bijvoorbeeld verdroging van natuurgebieden of waterwingebieden.

6.9 Overige aspecten

6.9.1 Vormgeving

Vóór 1880 à 1900 is het water één van de dragers van de stedelijke structuur; ook verbindt het stadswater de stad met het buitengebied. In de grote stadsuitbreidingen na die tijd verdween het water in belangrijke mate uit het stadsbeeld. Veel singels werden gedempt bij rioleringsaanleg en ten behoeve van het toenemende verkeer. In de nieuwbouwwijken na 1945 is weer meer water toegepast. In een eerste periode kenmerken deze wijken zich door een strakke opzet met veel hoogbouw en door de scheiding van wonen, werken, verkeer en recreatie. Het water had een functie in de waterhuishouding en langs de rand van het woongebied kwam een groene singel met voetpad en wat kleine recreatieve mogelijkheden in de vorm van een plekje aan het water met wat zitbanken. Het water en groen werd gelegd in het breukvlak van twee woonvlekken of tussen twee gebieden met verschillende functies. Omdat in deze grenszones ook de grotere wegen werden geprojecteerd, ziet men veelal parallel aan water en groen een brede weg. Dit brede profiel onderstreepte de grote schaal en de rechtlijnige duidelijke opbouw van de wijken [6-35]. Het groen en het water was volgens de toenmalige ontwerpfilosofie de ontmoetingsplaats van de rondom in hoogbouw wonende inwoners. Deze groenzones bleken echter eerder een scheidende dan een bindende functie te vervullen. In de woonwijken sinds de periode 1970–1975 ziet men dat het streven naar scheiding van functies steeds meer vervangen wordt door een ontwerpfilosofie van functie-integratie.

De woonvlek wordt nu veelal gezamenlijk ingevuld door architect, tuin-architect en stedebouwkundige. Het water binnen de woonvlek veranderde van karakter (fig. 6.47). Nieuwe begrippen, zoals morfologie van de bodem, deden hun intrede bij het ontwerpen. De ontwerpers gingen oude slotenpatronen handhaven of uitbreiden en, aangepast aan het verkavelingspatroon, opnemen in het ontwerp.

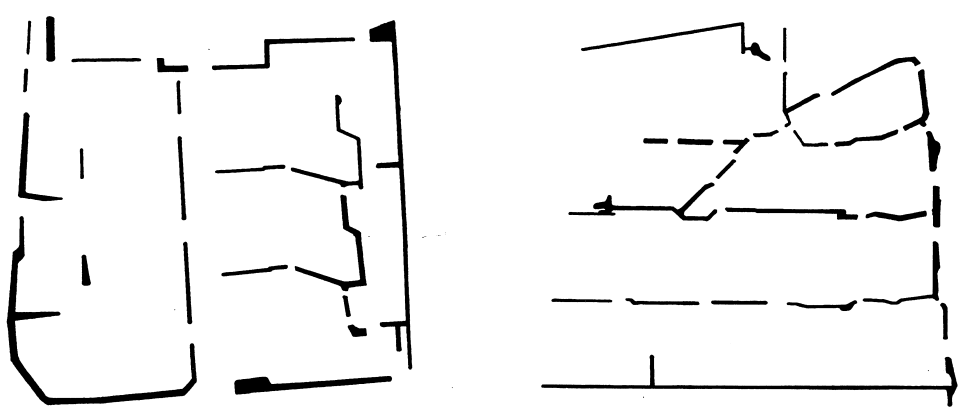


Fig. 6.47. Veranderde vormgeving van het patroon van singels in Nederlandse woonwijken

Binnen de woonvlek is een vervlechting van het water met de woonomgeving in een kleinschalige vorm te zien. Het water heeft hier, naast een recreatief gebruik, vooral een esthetische functie. Gebruikelijke singelprofielen in Nederlandse woonwijken zijn weergegeven in fig. 6.48.

Stedebouwkundig gezien zijn water, groen en steen de dragers voor de door deze elementen gevormde openbare ruimte. Water kan een structuur aan de stad geven, wisselend van karakter al naar de functie van het water en de situering binnen het totale stedelijk gebied [6-35]. Een continue ruimte, als een draad vanuit de binnenstad door de buitenwijken naar de daarbuiten liggende groene ruimte, steeds wisselend van beeld,

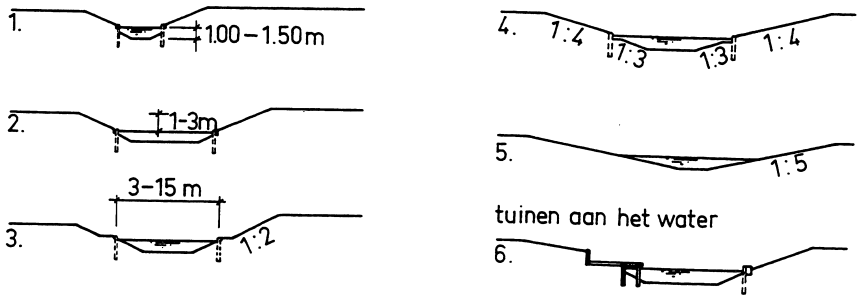


Fig. 6.48. Gangbare waterlopen in Nederlandse woonwijken

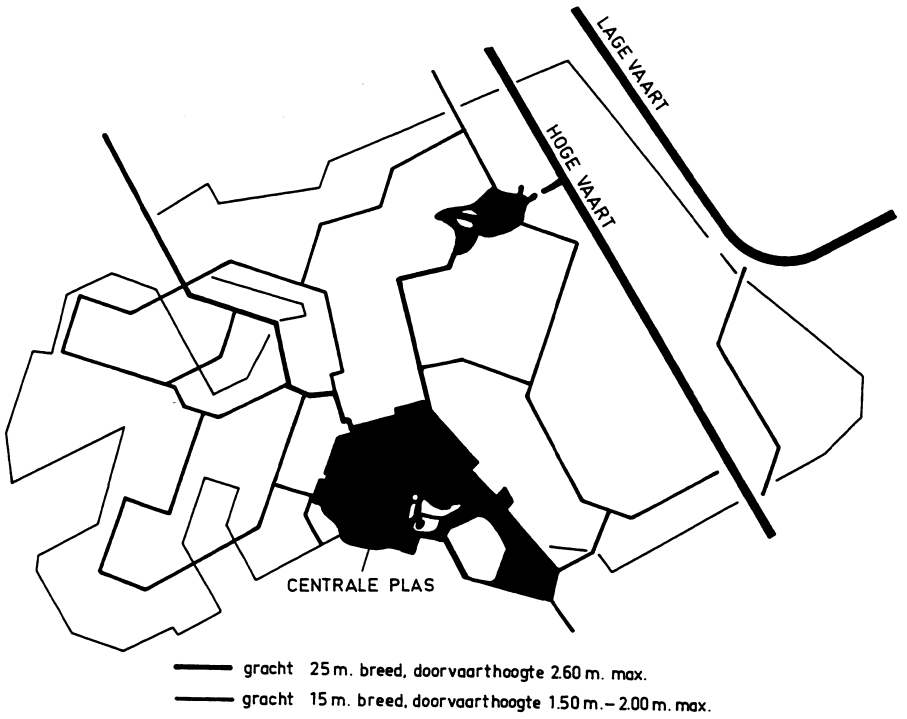


Fig. 6.49. De waterstructuur van Almere-Stad

sfeer en karakter; stedelijk in de binnenstad, landelijk in de omliggende groene ruimte buiten de stad.

Het past in dit water/groen/steen-structuurbeeld dat het grootschalige waterpatroon zich vertakt in de kleinschaligheid van de woonvlekken. Dit is voor de recreatie van grote betekenis. Evenzo past het om de grootschalige waterrecreatie-elementen, die nu vaak op enige afstand van de stad zijn gelegen, in deze stedelijk structuur op te nemen. De voor de zandwinning gebruikte plassen kunnen op deze manier geïntegreerd worden in de nieuwe woonwijken of in het overgangsgebied tussen stad en land (fig. 6.49) [6-36, 6-37].

Zo'n grootschalige structuur moet als basis een functioneel civiel-technisch ontwerp hebben, met overruimten en toleranties in de water-landzone voor de overige disciplines. Bij de kleinschalige vertakking in de woonvlekken kan het water een bepaalde sfeer ondersteunen. Zo is in het plan Haagse Beemden een structuurbeeld van de waterlopen gemaakt aan de hand van mogelijke 'sferen' [6-38, 6-39]. De aangegeven sferen zijn bosbeek, natuurlijk, landschappelijk, parkachtig, sloot en gracht/vaart. De mogelijke variatie van de waterlopen kan worden gevonden in de waterbreedte, het taludverloop, de oeverafwerking en de begroeiing van de oevers. De beeldvorming is voor de Haagse Beemden vastgelegd door middel van de principe-profilering ('ontwerpeisen'), toegelicht aan de hand van foto's: een karakteristiek profiel in combinatie met een uitsnede

uit een ontwerp van een waterloop (fig. 6.50, 6.51). Deze sferen moeten worden gezien als basismogelijkheden.
Zoals eerder aangegeven kunnen zandwinplassen geïntegreerd worden in nieuwe woonwijken. Onder andere Van Grondelle en Van Lohuizen pleiten voor een kritische houding ten aanzien van het gebruik van ophoogzand bij de aanleg van wegen en bouwterreinen en wensen dat meer rekening wordt gehouden met de mogelijkheden

parkachtig/singel

waterbreedte	taludverloop	oeverafwerking	begroeiïng
wisselend, in relatie tot het ontwerp	wisselend, doch hoofdzakelijk flauw (vanaf 1:5) mede t.b.v. rekreatie, in relatie tot het ontwerp	"harde" oeverafwerking, plasbermen en eventueel stoepen t.b.v. rekreatie.	gevariëerde beplantingen, zowel inheems materiaal als siergassortiment en exoten.

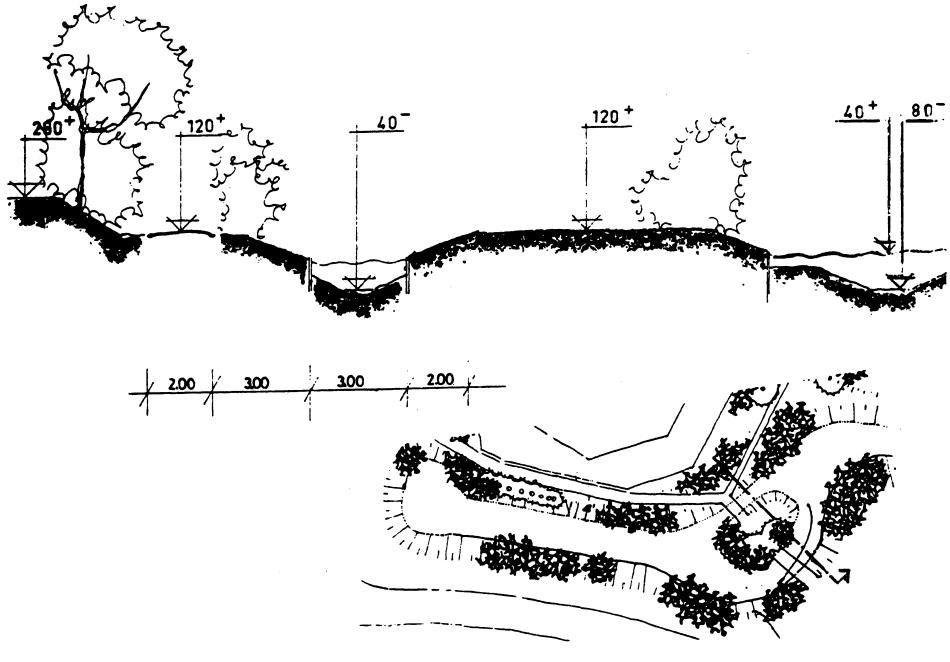


Fig. 6.50. Beeldvorming waterlopen: parkachtig/singel [6-38]

van ophoogzand uit de Noordzee en van hergebruik van afvalstoffen (par. 4.7) [6-40, 6-41].
Uit het in ontwikkeling zijnde ontgrondingsbeleid zullen zeker grotere beperkingen ten aanzien van de winningsmogelijkheden volgen. Het winnen van ophoogzand uit de Noordzee heeft financiële consequenties. Zo is becijferd dat het dekken van de zandbehoefte van Almere met Noordzeezand een kostenverhoging van miljarden guldens

landschappelijk

waterbreedte	taludverloop	oeverafwerking	begroeiïng
Wisselend, in relatie tot het ontwerp.	buitenbocht steil (tot 1:3), de binnenbocht relatief flauw (vanaf 1:5); steile talud in principe vlak of bol, flauwe talud hol tot vlak	"zachte" oeverafwerking, waar géén of erg weinig betreding, overigens "hard" (beschoeiing). stoepen in relatie tot ontwerp (visoevers, variatie begroeiing). meestal plasbermen t.b.v. veiligheid.	gevariëerde beplantingen, "natuurlijk".

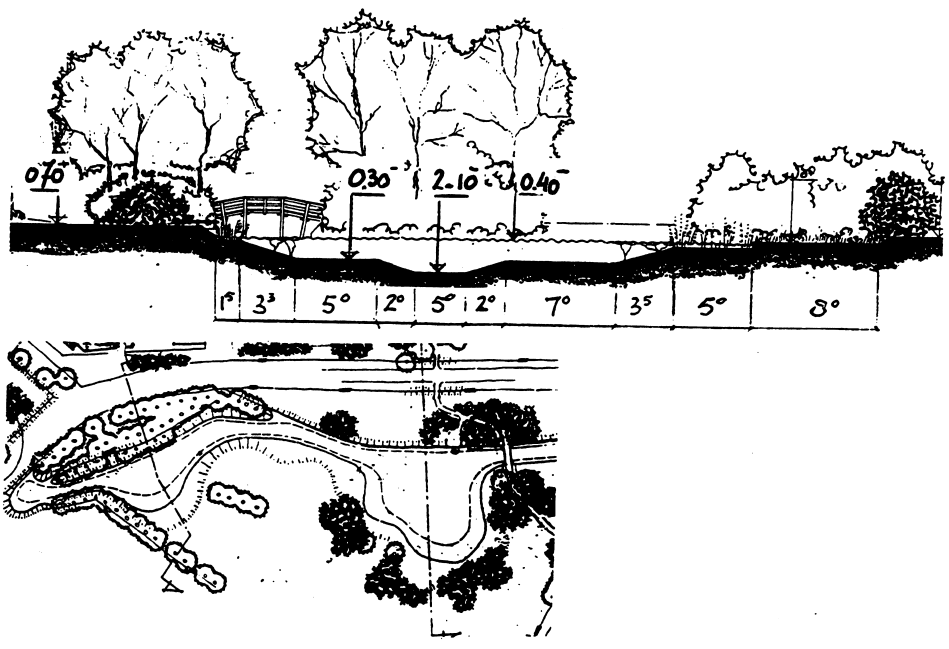


Fig. 6.51. Beeldvorming waterlopen: landschappelijk [6-38]

betekent ten opzichte van winning in de omgeving. Dit betekent dat het wenselijk wordt zo min mogelijk zand te gebruiken bij het bouwrijpmaken. Een dergelijk beleid moet evenwel afgewogen worden in het kader van het hele kwaliteitsbegrip met betrekking tot een bouwrijp te maken terrein (par. 1.5, 4.8 en 9.7).

De opvattingen over de slechte waterkwaliteit van diepe zandwinputten, één van de argumenten tegen binnendijkse winning uit putten en winning in meren, zijn niet onbediscussieerd. Zo schrijft Heida dat intussen een groot aantal plassen tot grote diepte is ontzand, maar dat het verschijnsel van plotseling zuurstofloosheid tot nog toe niet is waargenomen; toch wordt de als 'doodwatertheorie' aan te duiden opvatting nog steeds aangehangen [6-42]. Heida stelt dat in het Sloterplas-onderzoek nieuw bewijsmateriaal wordt aangedragen tegen de doodwatertheorie. Onderzoek in de randmeren [6-43] geeft aan dat de milieukwaliteit in diepe putten minder is dan in ondiep water. Zo heeft de zuurstofloosheid in de onderlaag van een diepe put tot gevolg dat de in de bodem opgeslagen fosfaten worden vrijgemaakt en zo wordt de eutrofie van het water nadelig beïnvloed. De Jong becijfert dat bij een putoppervlak van 10% van het totale oppervlak van een meer en bij een korte stratificatieduur van 20 dagen vanuit de put reeds 0,3 g P/m^2 per jaar wordt bijgedragen aan de maximaal gewenste totale belasting van 1 à 2 g P/m^2 per jaar. Het uitsluiten van winning zal echter genuanceerd moeten worden benaderd, gezien bovengenoemde voordelen van winning in putten.

6.9.2 Verdrinkingsgevaar

Jaarlijks verdrinken er in Nederland ruim 100 personen in de leeftijdsgroep van 0–20 jaar. Dat is ongeveer een kwart van alle sterfgevallen door ongevallen in deze groep [6-44, 6-45]. De verdeling van de verdrinkingen over de verschillende leeftijden is weergegeven in tabel 6.10. Uit de tabel blijkt dat van alle verdrinkingen in genoemde leeftijdsgroep ongeveer 60% plaatsvindt in de leeftijd beneden 5 jaar. Het is opvallend dat 0–4 jarigen vooral verdrinken in water dicht bij huis, terwijl de oudere kinderen meer in groter en dieper open water verdrinken (tabel 6.11). Het aantal verdrinkingen is sedert het begin van deze eeuw sterk afgenomen.

Tabel 6.10. Verdeling van verdrinkingen over verschillende leeftijden in Nederland (1975 t/m 1977)

0 jaar	5
1 jaar	49
2 jaar	71
3 jaar	54
4 jaar	32
5– 9 jaar	97
10–14 jaar	23
15–19 jaar	22
	353 in 3 jaar

Uit een recent onderzoek naar de oorzaak van tewaterraking zijn weinig generaliserende conclusies te melden [6-46]. In de praktijk worden een aantal ontwerptechnische preventiemaatregelen toegepast. Deze maatregelen kennen voor- en tegenstanders (fig. 6.48).

De maatregelen zijn:

- plasberm
  voorstanders stellen dat in ondiep water kinderen eenvoudig het hoofd boven water kunnen houden.

tegenstanders stellen dat ondiep water kinderen trekt als waterspeelplaats; de grens met het diepere water is echter niet zichtbaar.
- een oeverpad langs de waterkant
  voorstanders stellen dat de kans om van het talud af het water in te rollen klein is.
  tegenstanders stellen dat een pad kinderen juist bij het water brengt.
- een flauw talud
  voorstanders stellen dat kinderen eenvoudiger kunnen stoppen bij het van het talud af hollen of rollen.
  tegenstanders stellen dat een flauw talud uitnodigt tot spelen.
- een steil talud
  voorstanders stellen dat kinderen hierdoor worden afgeschrokken.
  tegenstanders stellen dat, indien een kind op een steil talud komt, het zeker in het water komt.

Uit bovengenoemd onderzoek kon geen bevestiging worden gevonden voor de veronderstelling dat een bepaald ontwerp of omgevingskenmerk een systematische rol speelt bij verdrinking. Het vermijden van duidelijk onveilige situaties is gewenst. Nog al te vaak is een kleuterschool, een belangrijk voetpad of een tuin zonder afscherming gesitueerd naast water.

Tabel 6.11. Plaats van verdrinkingen van 0–19 jarigen in 1978 in Nederland [6-45]

	0–4 jaar	5–19 jaar
huis, tuin	13	3
plantsoen, sloot	24	2
kanaal, rivier	11	9
zwemmen	3	10
zee	0	2
ijs	2	2
varen	0	7
onbekend	11	4
totaal	64	39

6.10 Samenvatting

De neerslag die in een stedelijk gebied valt moet, voorzover zij niet verdampt, worden geborgen en afgevoerd. Voor de bepaling van afvoer en berging is het van belang hoe de afstroming van de neerslag door de verschillende vormen van verharding wordt vervormd en vertraagd. De resultaten van de laatste onderzoekingen en de wijze waarop die in de praktijk worden geïnterpreteerd staan omschreven.
Het water in de grachten kan op verschillende wijzen worden afgevoerd. De verschillende methoden en de eisen die daarbij worden gesteld worden behandeld. Het ontwerp van het open water in een stedelijk gebied hangt sterk samen met de keuze van het rioolstelsel. Daarom wordt kort ingegaan op de in Nederland toegepaste rioleringssystemen.
Uitgebreid worden de berekeningsmethoden voor de dimensionering van waterlopen en kunstwerken in stedelijke gebieden behandeld. Daarbij wordt tevens ingegaan op de rol die de kwaliteit van het oppervlaktewater in de stad speelt en hoe in het ontwerp van het watersysteem hiermee rekening kan worden gehouden. Tenslotte wordt op de vormgeving van het open water in stedelijke gebieden kort ingegaan, waarbij tevens aandacht wordt besteed aan verkleining van het verdrinkingsgevaar voor kinderen.

7 Het groeimilieu

7.1 Inleiding

7.1.1 Bouwrijp maken en milieufactoren

Door de aanleg van steden worden een aantal wijzigingen aangebracht in de abiotische milieu-factoren. Deze wijzigingen zijn:

- verslechtering van de kwaliteit van de atmosfeer, door uitlaatgassen van verkeer en emissies van huizen, kantoren en fabrieken;
- veranderingen in het microklimaat, onder andere door verwarming van gebouwen, waardoor ook de omgeving verwarmd wordt;
- verandering in de waterhuishouding en in de bodem; onder andere door bedekking van de bodem, door de versnelde afvoer van de neerslag en het aanbrengen van zandophogingen zullen aanmerkelijke veranderingen in planten- en dierenwereld optreden. Vele planten en diersoorten zullen bij bebouwing verdwijnen. Voor andere soorten zullen in de stad een aantal nieuwe gebiedstypen geboden worden. Met betrekking tot dit laatste punt is nog weinig systematisch onderzoek gedaan en is de hoeveelheid operationele kennis beperkt.

Omdat de civiele techniek in het algemeen en het bouwrijp maken in het bijzonder gericht is op het doen van ingrepen in de factoren bodem en water – dus in abiotische milieu-factoren – is het van belang hierop nader in te gaan.

Ten aanzien van het groen zijn twee aspecten van belang:

- de aanleg van groenvoorzieningen moet zodanig zijn dat een goed groeimilieu wordt geboden. Het aangelegde groen moet goed kunnen groeien terwijl de kosten voor de aanleg ervan niet te hoog mogen zijn (par. 7.2 en 7.3);
- meer natuurlijke groenelementen blijken in gelijke of grotere mate te voldoen voor bepaalde vormen van stedelijke recreatie dan meer cultuurlijk aangelegde groenvoorzieningen (par. 7.1.2 en 7.3).

7.1.2 Stedelijk groen

Onder groen in een plan wordt verstaan dat gedeelte van het plan dat voor actieve danwel passieve recreatie is bedoeld. Dit betreft ook recreatief bruikbare verharding, zoals speelplaatsen.

Binnen het groen in de stad bestaat een zekere differentiatie naar functie, vorm en grootte. Het groen wordt onderscheiden naar:

- blokgroen,
- buurtgroen,
- wijkgroen,
- stads(deel)park.

Daarnaast zijn er nog:

- volkstuinen,
- sportterreinen,
- begraafplaatsen.

Per type wordt veelal aangegeven hoeveel m^2 per inwoner ervan nodig is. Bovendien

geldt een maximale loopafstand tot de woning [7-1]. Brandes [7-2] beschrijft de veranderingen gedurende de laatste jaren in de aanleg van stedelijk groen en water. Zij constateert de volgende tendensen:

- het handhaven van een relatie tussen het groen van het buitengebied en het groen in het plan;
- de opname van landschappelijke elementen in het plan;
- het tegengaan van versnipperd en onbruikbaar kijkgroen. Het groen wordt meer geconcentreerd en samengebracht in grotere eenheden;
- een sterkere integratie van waterelementen in het woongebied;
- het groen en het water worden gebruikt om een gewenste hoofdstructuur nader te accentueren.

Een voorbeeld van integratie van het buitengebied (landelijk gebied) en het stedelijk gebied is het bestemmingsplan Haagse Beemden-Breda (fig. 7.1). Grotere landschapselementen zijn bij de Haagse Beemden gespaard. Oude boombeplantingen van eik en beuk zijn hier bepalend voor het landschapsbeeld. Van grote betekenis hiervoor is het

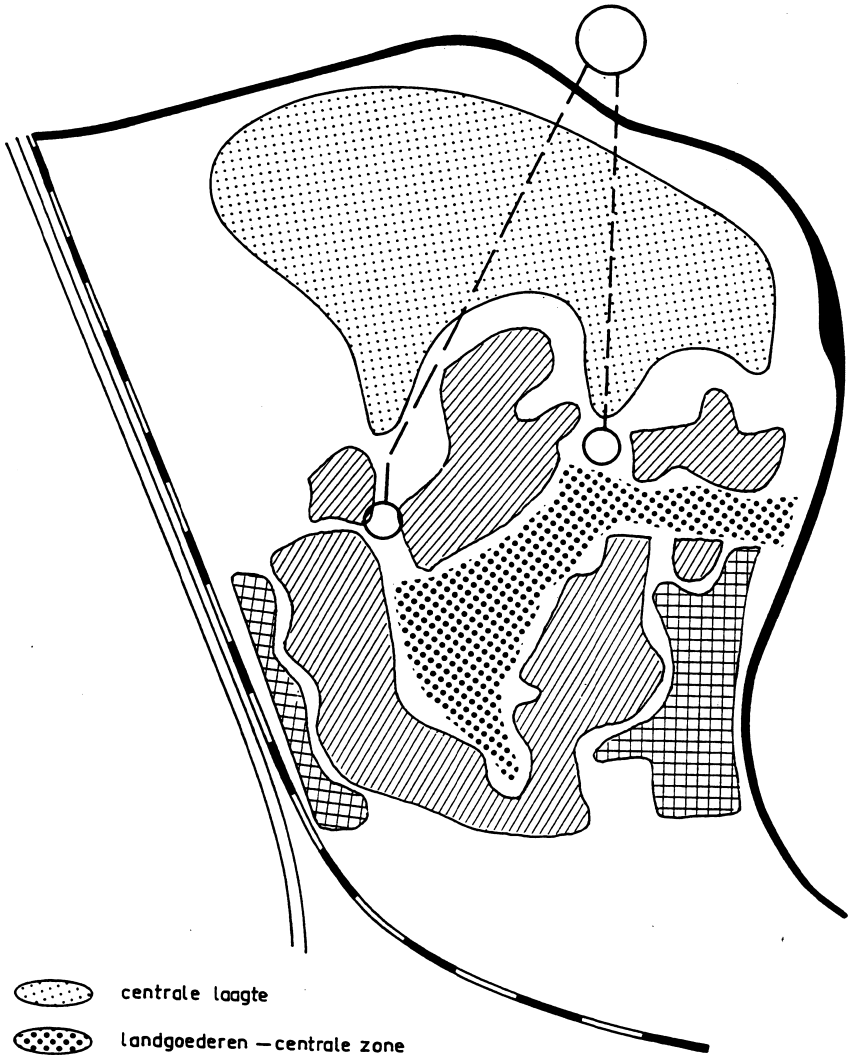


Fig. 7.1. Ontwerp structuurplan Haagse Beemden 1979 (schematisch)

handhaven van de grondwaterstand. Daarom is in het structuurplan niet gekozen voor een flinke ontwatering teneinde de laag gelegen en te natte bouwterreinen voldoende drooglegging te geven (fig. 2.22). Besloten is ter plaatse van de woonbuurten het maaiveld op te hogen. Het daarvoor benodigde zand wordt grotendeels verkregen door winning uit twee zandwinplassen op de grens van het woongebied en het buitengebied. De mogelijkheden voor zo'n wat grootschaliger integratie van bestaand groen zijn vooral aanwezig bij de overgangen van hoog naar laag en van zand naar klei/veen, zoals in hoofdstuk 1 al is aangegeven. Het heeft wel als consequentie dat de woningbouw juist op de lagere delen en op de klei/veengronden wordt gesitueerd, hetgeen betekent dat ingrijpender maatregelen voor het bouwrijp maken nodig zijn. Dit heeft als consequentie meer zand- en grondverzet en hogere kosten. Ook de hoofdinfrastructuur is omvangrijker, hetgeen ook hogere kosten met zich meebrengt.

Bij stadsuitbreidingen zijn drie benaderingen mogelijk ten aanzien van groen en natuur in relatie met het bouwrijp maken:
- Sparen van natuur en landschap. Dit zal moeten gebeuren in gevallen waarin de waarde en de kwetsbaarheid ervan groot is. Een probleem hierbij is de invloed van de veranderingen in bodemgesteldheid en vooral waterhuishouding in het stedelijk gebied op het nabijgelegen natuurgebied. Zo kunnen bijvoorbeeld de versnelde afvoer van neerslag en de grondwaterstandverlaging invloed hebben op in de buurt gelegen natuurgebieden.
- Gebruik van bestaande natuur en landschap bij de ontwikkeling van een stedelijk gebied op een wijze dat het stedelijk gebied ervan profiteert. Dit kan gedaan worden door extensief gebruik en een goede inrichting. Bij deze aanpak wordt met behulp van de bestaande interessante landschappelijke gebiedskenmerken een structuur van een stedelijke uitbreiding ontworpen, waarin de karakteristieken van een gebied herkenbaar blijven. Dit kan het plan een duidelijke identiteit geven. Toch zullen civiel-technische ingrepen nodig blijven. Het is dan nodig de consequenties voor het bestaande groen te onderzoeken.
- Opbouwen van een nieuw gevarieerd milieu in situaties waar door civiel-technische ingrepen het bestaand milieu is verdwenen of waar een weinig aantrekkelijk milieu bestond.

De behoefte van de mens met betrekking tot het natuurlijk milieu zijn vertaald in functies [7-3]. De functies van natuur in de stad zijn:
- recreatieve functie: het groen is een onderdeel van of biedt een decor voor recreatieactiviteiten;
- de biologische functie: het groen is de drager van planten en dierenleven, dat weer een bijdrage levert aan een prettige woonomgeving;
- de reguleringsfunctie: het groen levert een bijdrage aan een prettig stadsklimaat, zoals beschutting tegen wind, geluidsabsorptie, filtratie van stof, regulatie van vochtigheid;
- de vormgevingsfunctie: het groen kan een bijdrage leveren aan het ontwerp van gebouwen en bij de structurering van een stedelijk gebied;
- de educatieve functie: het groen levert een bijdrage aan de ontwikkeling van de bewoners, vooral kinderen.

Om deze functies mogelijk te maken moet een hoeveelheid groen worden aangelegd. Diverse systemen van groennormen bestaan. Hier is het systeem genoemd zoals ontwikkeld door de Werkgroep Ruimtebeslag (hoofdstuk 9).

Over natuur in de stad of natuur binnen stedelijke invloedssfeer wordt verschillend gedacht [7-4]. Een eerste opvatting gaat uit van de psychische behoefte van mensen om veelvuldig contact met de natuur te behouden om natuurvervreemding tegen te gaan.

Onder natuurvervreemding wordt dan verstaan de verwijdering tussen mens en natuur, waardoor het welzijn wordt bedreigd. Door verlies aan deze elementaire gevoelens bestaat de kans dat waarden en normen worden gevormd die niet stroken met het voortbestaan van de biosfeer [7-5, 7-6, 7-7]. Laurie gaat zo ver door te stellen dat als natuur in stedelijke gebieden gehandhaafd blijft, de stedeling een meer bevredigende en psychologisch veilige woonomgeving heeft. De natuur is een tegenkracht tegen verstoringen die tot uiting komen in psychische en sociale problemen van de stedeling. Groen draagt bij aan het psychisch en mentaal welbevinden van de stedeling.
Een andere opvatting gaat uit van de stelling dat natuur in de stad kunstmatig is en bewust als vormelement in het ontwerp moet worden gebruikt. De groene stad wordt in deze opvatting gezien als een sociaal politieke ideologie die een reactie is op de stedelijke ontwikkelingen tijdens en na de industriële revolutie [7-8]. Foin [7-9] is een van de schrijvers die stellen dat er weinig informatie beschikbaar is om de idee te ondersteunen dat de mens natuur nodig heeft. In dit verband is de uitgebreide studie van Hinkle interessant [7-10]. Die studie geeft een omvattend overzicht over de toepasbaarheid van onderzoek dat gericht is op het vaststellen of verwerpen van fysieke of sociale factoren als omgevingsrisico ten aanzien van gezondheid en veiligheid in de meest ruime zin. De studie komt tot twee hoofdconclusies:

- bestaand onderzoek leidt niet tot het duidelijk vaststellen van positieve of negatieve implicaties van de fysieke factoren van de gebouwde omgeving voor gezondheid of ziekte. Uiteraard zijn belangrijke tekortkomingen in basisvoorzieningen zoals onderdak, drinkwater en afvalverwerking van de conclusie uitgesloten;
- fysieke factoren van de gebouwde omgeving lijken wel een intermediaire, indirecte invloed te hebben op gezondheid en veiligheid. Interdisciplinair onderzoek is nodig om deze invloeden nader vast te stellen.

Hinkle concludeert dat veel schrijvers uitgaan van een ecologisch determinisme en dat erg veel speculatieve literatuur is geschreven, die echter geen resultaten geven die gegeneraliseerd kunnen worden naar de menselijk samenleving. Van Swaay onderzocht de literatuur met betrekking tot natuur- en groenbeleving in het stedelijk milieu [7-11]. De voornaamste conclusie is dat dit brede terrein van onderzoek nog in de kinderschoenen staat en dat er nog veel zal moeten gebeuren voordat concrete informatie te geven is over de beleving van natuur in de stad en het daaraan gekoppelde gedrag.

In de Nederlandse steden wordt vooralsnog 10 à 20% van het totale wijkoppervlak als groen aangelegd. Wil dit groen goed functioneren dan zal aan een aantal voorwaarden moeten worden voldaan. Bij het ontwerpen is er zoals gezegd de tendens naar het integreren van bestaande landschappelijke elementen binnen het stedelijk gebied en naar het maken van natuurlijke groengebieden. Om dit met succes mogelijk te maken moeten ontwerp, inrichting en beheer worden gebaseerd op ecologische principes.

7.1.3 Ecologie

Ecologie is de wetenschap van de betrekkingen tussen organismen en hun milieu [7-3]. Het milieu is het geheel van factoren uit de omgeving van organismen die op het leven van die organismen inwerken. Elk organisme wordt beïnvloed door abiotische milieufactoren – de levenloze omgeving – en door biotische milieufactoren – andere organismen.
De abiotische factoren worden naar hun werking onderscheiden in fysische en chemische factoren en naar hun herkomst in bodem- en klimaatfactoren. De menselijke beïnvloeding van planten en dieren wordt de antropogene milieufactor genoemd. Een verzameling van organismen van verschillende soorten die voorkomen in een bepaald milieu en met elkaar en met dat milieu in wisselwerking verkeren, wordt een *levensgemeenschap* genoemd. De levensgemeenschap en het daarmee in wisselwerking verkerend milieu is een *ecosysteem*. De plaats waar een ecosysteem voorkomt is een *ecotoop*.

Een *ecosysteem* is te beschrijven met de begrippen milieudynamiek en milieuvariatie (fig. 7.2). Milieudynamiek is alle veranderingen van milieufactoren in de tijd (proces). Plaatselijke verschillen in de milieufactoren wordt milieuvariatie genoemd (patroon). Milieuvariatie zal onder bepaalde voorwaarden leiden tot ruimtelijke differentiatie. Voorwaarde daarvoor is dat de milieudynamiek klein is. In fig. 7.2 zijn de onderlinge relaties van bovengenoemde kenmerken van een ecosysteem schematisch weergegeven. De ongelijke dikte van de relatiepijlen geeft dominantieverhoudingen aan, bijvoorbeeld dat het milieu meer bepalend is voor de bijbehorende levensgemeenschap dan omgekeerd. De aangegeven relaties en dominantieverhoudingen geven richting aan het menselijk ingrijpen dat gericht is op behoud en vergroting van de variatie aan soorten. Zo is te zien dat menselijke ingrepen in de bodemgesteldheid en de waterhuishouding, de ontwikkeling van een levensgemeenschap sterk kunnen beïnvloeden. Ook kan toename van de menselijke dynamiek gemakkelijk leiden tot een afname in variatie aan soorten.

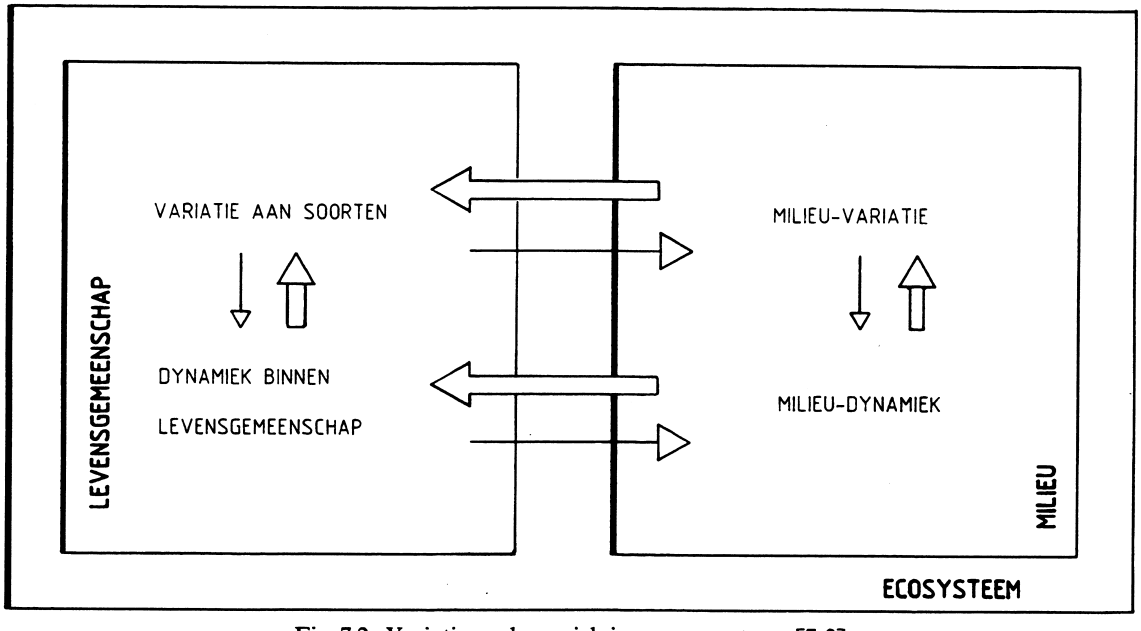


Fig. 7.2. Variatie en dynamiek in een ecosysteem [7-3]

Milieuvariatie treedt vaak op in de vorm van gradiënten [7-5]. Men spreekt van een *gradiënt* wanneer er een geleidelijke verandering in de ruimte is in één of meer milieufactoren. Het milieu ter plaatse van de gradiënt wordt *grensmilieu* genoemd. Men onderscheidt scherpe en vage grensmilieus. In vage grensmilieus is veelal een reeks milieutypen aanwezig, waarbij door variatie in milieufactoren extremen in milieutypen en wat daar tussenzit voorkomen. Vage grensmilieus worden gekenmerkt door veelvormigheid, soortenrijkdom, weinig individuen per soort organisme en door fijnkorreligheid. Bij scherpe grensmilieus grenzen de extreme milieutypen direct aan elkaar en is er sprake van éénvormigheid, soortenarmoede, massaal voorkomen van enkele soorten en van grofkorreligheid. Belangrijke gradiënten zijn bodemgradiënten, watergradiënten, microklimaatgradiënten en cultuurgradiënten.

In de natuur is er altijd sprake van een complex van milieufactoren op één bepaalde plaats. Wanneer twee of meer gradiënten loodrecht op of althans niet evenwijdig aan elkaar liggen, is meer variatie aanwezig en zijn voor meer soorten planten en dieren goede levensvoorwaarden aanwezig (fig. 7.3). Er is sprake van stabiele grensmilieus wanneer een bepaald extreem van een milieufactor domineert over het andere extreem van die factor (fig. 7.4).

Afhankelijk van het te beschouwen schaalniveau onderscheidt men *macrogradiënten* (bijvoorbeeld de overgang van de duinen naar de achterliggende polders) en *meso- en microgradiënten* (bijvoorbeeld de overgang grasland naar bos of de overgang van een droge zandopspuiting naar een watergang).

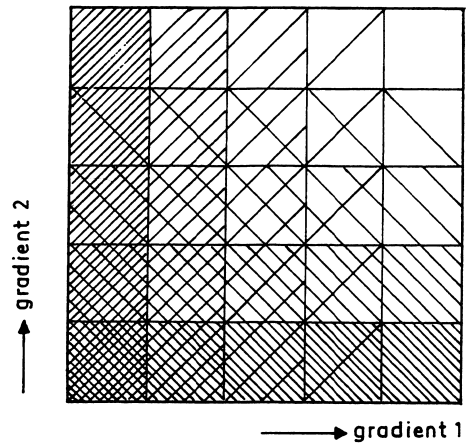


Fig. 7.3. Loodrechte ligging van twee gradiënten [7-5]

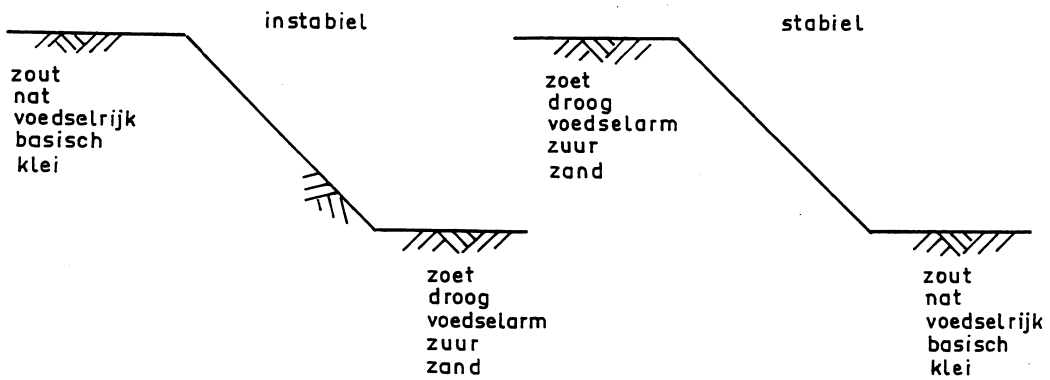


Fig. 7.4. Belangrijkste milieufactoren in grensmilieus [7-5]

Bij het bouwrijp maken kunnen gradiënten ontstaan op meso- en microniveau, in de orde van grootte van enkele meters tot enkele honderden meters. De belangrijkste milieufactoren die hierbij zijn te variëren zijn de hoeveelheid beschikbaar bodemvocht, de voedselrijkdom en het zuurgehalte, het reliëf, de korrelgrootteverdeling en de waterkwaliteit.

Het streven bij het bevorderen van natuur en natuurlijk groen in stedelijke gebieden is [7-5]:

- zoveel mogelijk gradiënten laten ontstaan in één of meerdere milieufactoren op verschillende schaalniveaus;
- de verschillen binnen één gradiënt, tussen de beide extremen van één of meer milieufactoren, zo groot mogelijk maken en daarbij alle overgangen te laten ontstaan;
- een bepaald extreem van een milieufactor te laten domineren over het andere extreem van die factor;
- twee of meer gradiënten loodrecht op elkaar of althans niet evenwijdig aan elkaar te laten lopen;
- rekening te houden met noodzakelijke grootte, vorm en rangschikking van groengebieden om de aanwezigheid van organismen te bevorderen.

7.2 Bodem, water en plant

7.2.1 Inleiding

In agrarische gebieden is het scheppen van een optimaal milieu voor de groei van gewassen een belangrijke eis. In stedelijke gebieden is een maximale produktie geen doel maar wordt wel grote waarde gehecht aan een goede gevarieerde groenvoorziening. Daarom wordt er aandacht besteed aan de relatie bodem–water–plant.

Een goede ontwikkeling van het wortelstelsel is van belang voor een goede groei van de beplanting. De ontwikkeling van het wortelstelsel wordt onder andere beïnvloed door:

- De hoeveelheid beschikbaar water; deze hoeveelheid hangt niet alleen af van de aanwezige hoeveelheid water in de bodem, maar ook van de kracht waarmee dit water aan de grond is gebonden. In het groeiseizoen moet 150 à 200 mm vocht beschikbaar zijn.
- Het luchtgehalte van de bodem; wanneer het luchtgehalte in de bodem lager is dan 10% van het totaalvolume dan treedt een vermindering op van de totale produktie.
- De zuurstofconcentratie; zuurstof is nodig voor de opname van water en voedingstoffen door de wortels. Het zuurstofgehalte moet hoger zijn dan 12%.
- De koolzuurconcentratie; koolzuur, dat geproduceerd wordt door de wortels en bodemorganismen, werkt remmend op de groei van planten als de concentratie hoger is dan 6%.
- De temperatuur; de temperatuur mag niet te laag worden. Een vochtige bodem blijft in het voorjaar te lang koud.
- De fysische eigenschappen van de bodem; vooral een hoge mechanische weerstand tegen indringen van de wortels in de grond belemmert de wortelgroei.
- De grondwaterkwaliteit.

Uit bovenstaande factoren blijkt het belang van de bodemgesteldheid en de waterhuishouding voor de wortelontwikkeling en daarmee voor de ontwikkeling van de plant. Zoals in par. 3.2.7. is uiteengezet bestaat de bodem boven de grondwaterspiegel uit drie fasen:

- vaste delen,
- water,
- lucht.

Onder de grondwaterspiegel, in de volledig met water verzadigde grond, ontbreekt de lucht. Bij dit drie-fasensysteem zijn twee aspecten van belang.

- De grondwaterstand mag niet te hoog zijn, omdat dan te weinig lucht in de wortelzone aanwezig is. De hoogte waarover het wortelstelsel zich kan ontwikkelen wordt bij een hoge grondwaterstand te zeer beperkt en daarmee is het gebied waaraan vocht en voedingsstoffen kunnen worden onttrokken te klein (fig. 7.5). Tevens zijn natte gronden koud waardoor het begin van de groei traag verloopt. Tenslotte kan de vereiste grondbewerking in voor- en najaar niet op tijd beginnen en neemt de draagkracht van de grond af.

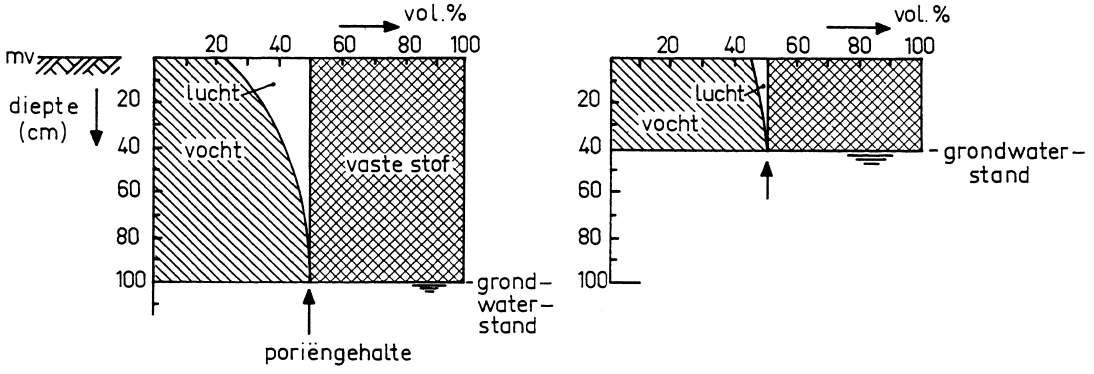


Fig. 7.5. De verhouding tussen het gehalte vaste stof – bodemvocht – lucht bij verschillende grondwaterstanden: vochtgehalteprofielen

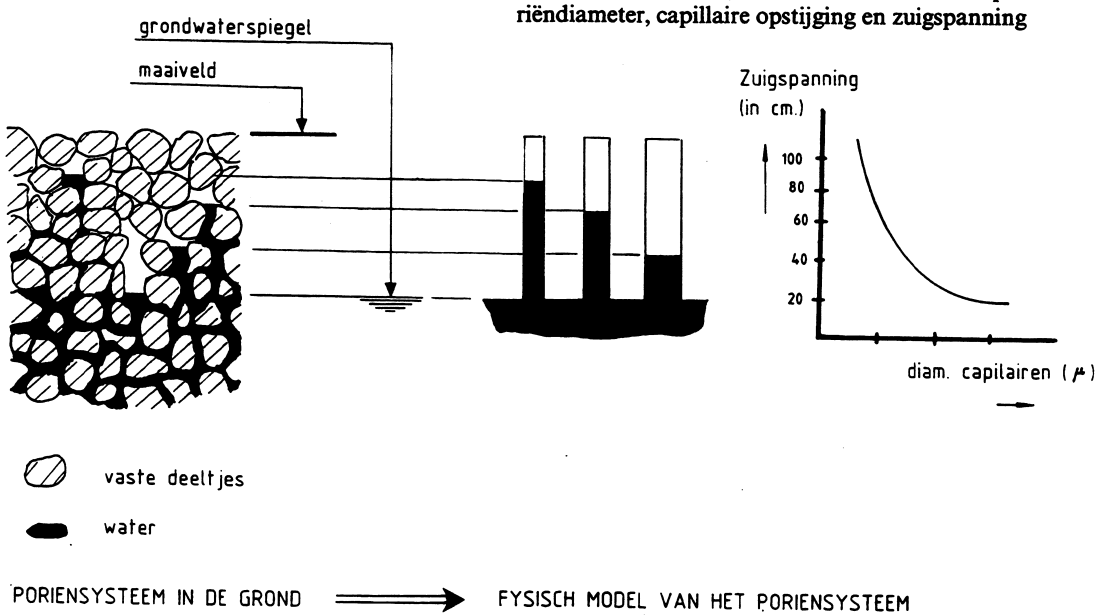
Het op voldoende diepte brengen van de grondwaterstand is behandeld in hfdst. 5.
- De grondwaterstand mag niet te laag zijn, omdat dan onvoldoende vocht naar de wortels kan opstijgen. Het is noodzakelijk dat het in de wortelzone beschikbare vocht en het uit het grondwater opstijgende vocht voldoende is om de planten te laten groeien. Dit wordt in de volgende paragrafen nader uitgewerkt.

7.2.2 Bodemvocht

Zoals eerder gesteld bevindt zich boven de grondwaterspiegel ook water. Dit water wordt door adhesie- en capillaire krachten vastgehouden, tegen de werking van de zwaartekracht in. De krachten binden het vocht aan de bodemdeeltjes. Het poriënsysteem in de grond is te vergelijken met een stelsel buisjes van verschillende diameter (fig. 7.6). In deze buisjes stijgt het water op, afhankelijk van de diameter van de buis. Hoe nauwer de porie, hoe hoger de opstijging en hoe groter de kracht waarmee het water wordt vastgehouden (tabel 7.1).

Daarom zijn de voor de plant van belang:
- hoeveelheid vocht: *vochtgehalte* θ
- bindingsenergie: *vochtspanning* ψ_w

Fig. 7.6. Het poriënsysteem en de relatie tussen poriëndiameter, capillaire opstijging en zuigspanning



Het vochtgehalte op zich zelf zegt niet zoveel. Zand met 20 vol.% water is nat. Dezelfde hoeveelheid water in veen is zo sterk gebonden aan de humus dat het veen droog lijkt. De plant kan met geringe moeite het meeste water aan het zand onttrekken. Bij het veen kan het water zo sterk gebonden zijn dat de zuigkracht van de wortels (maximaal 1,6 MPa = 16 atm) niet toereikend is om ook maar iets van het water te onttrekken.

Tabel 7.1. De relatie poriëndiameter, opstijging en zuigspanning

equivalente diameter van porie in μm	stijghoogte in cm	spanning in		
		cm H_2O	atm.	MPa
3000	1	1	0,001	0,0001
30	100	100	0,1	0,01
3	1000	1000	1	0,1

Om de hoeveelheid water te bepalen die met een bepaalde kracht (zuigspanning = vochtspanning) is gebonden aan de grond, zijn allerlei proeven gedaan met verschillende typen gronden. Bij de proeven wordt een met water verzadigd monster aan een zuigspanning onderworpen. Alle vocht dat met een lagere spanning aan de grond is gebonden wordt onttrokken. Het sterker gebonden water blijft achter. Zo kan bij iedere zuigspanning het vochtgehalte worden bepaald. In tabel 7.2 is dit weergegeven voor humusarm zand. De relatie kan in een vochtspanningscurve worden weergegeven (fig. 7.7). Het vochtspanningstraject van tabel 7.2 strekt zich uit van 0 tot 1,6 MPa. De ondergrens wordt gevormd door het vrije niet-gebonden water, de bovengrens door de maximale zuigspanning die de wortels kunnen uitoefenen. Wanneer men vochtspanning en vochtgehalte in één grafiek wil uitzetten is er een schaalprobleem vanwege het lange traject. Daarom wordt gewerkt met de logaritme van de vochtspanning in cm's waterkolom = pF

$pF = \log \psi_w$

Tabel 7.2. Vochtgehalte bij verschillende vochtspanningen bij een humusarm zand

Vochtspanning in			vochtgehalte in vol.%	*pF*
cm	waterkolom	MPa		
1	$(= 10^0)$	0,00010	41,5	0
2,5	$(= 10^{0.4})$	0,00025	41,5	0,4
10	$(= 10^1)$	0,00100	40,5	1,0
31,6	$(= 10^{1.5})$	0,00316	38,5	1,5
100	$(= 10^2)$	0,01	11,0	2,0
200	$(= 10^{2.3})$	0,02	7,5	2,3
501	$(= 10^{2.7})$	0,05	3,5	2,7
1.000	$(= 10^3)$	0,10	2,0	3,0
2.515	$(= 10^{3.4})$	0,25	1,5	3,4
10.000	$(= 10^4)$	1,00	1,0	4,0
15.850	$(= 10^{4.2})$	1,58	1,0	4,2

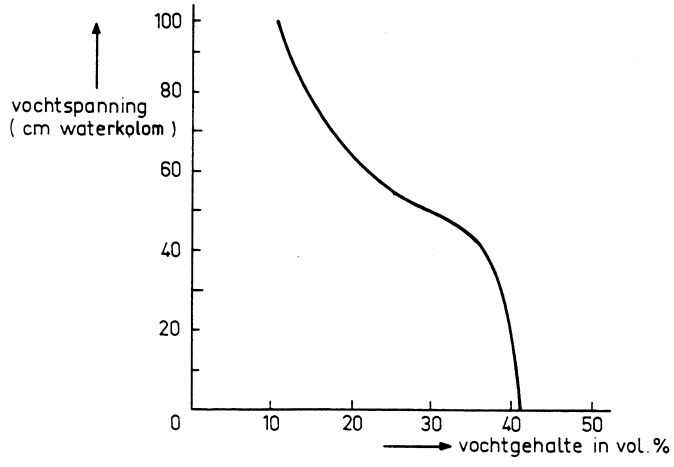


Fig. 7.7 Vochtspanningscurve van humusarm zand (tabel 7.2)

De grafiek die de relatie weergeeft tussen *pF* en vochtgehalte wordt de *pF*-curve genoemd. Op de *pF*-curve zijn een aantal karakteristieke punten te onderscheiden (fig. 7.8):

- freatisch vlak:
  $\psi_w = 0\,\text{cm} \quad \rightarrow pF = -\infty$
  Vochtgehalte = poriënvolume.

- 1 cm boven het freatisch vlak. In evenwichtstoestand geldt:
  $\psi_w = 1$ cm $\rightarrow pF = 0$
- 10 cm boven het freatisch vlak. In evenwichtstoestand geldt:
  $\psi_w = 10$ cm $\rightarrow pF = 1$
- 100 cm boven het freatisch vlak. In evenwichtstoestand geldt:
  $\psi_w = 100$ cm $\rightarrow pF = 2$

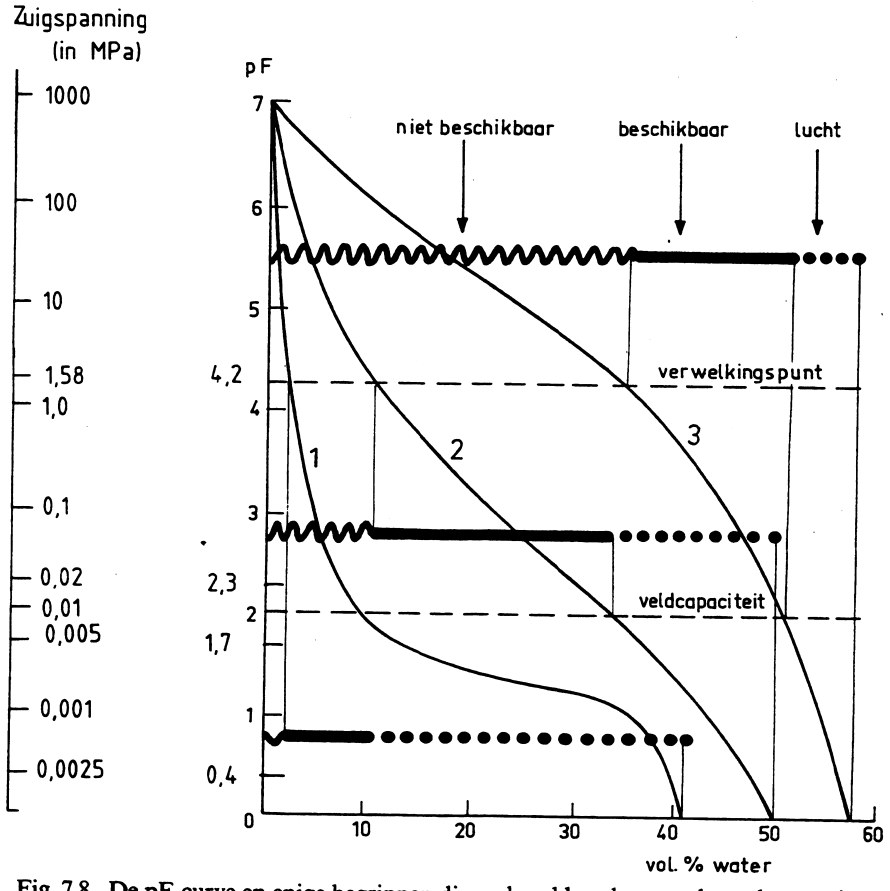


Fig. 7.8. De pF-curve en enige begrippen die verband houden met de vochtspanning: 1. zand; 2. klei; 3. veen.

Wanneer na een overvloedige regen het water dat in de grond is geïnfiltreerd enige dagen heeft kunnen uitzakken, dan zegt men dat de grond zich op *veldcapaciteit* bevindt. Dit is de maximale hoeveelheid water die tegen de werking van de zwaartekracht in kan worden vastgehouden. Bij de bepaling van de vochtspanning blijkt deze steeds ongeveer $pF = 2{,}0$ (1,8 à 2,2) te zijn. De $pF = 2{,}0$ komt overeen met de voorjaarstoestand in Nederlandse gronden bij een grondwaterstand van 1,5 à 2 m ÷ maaiveld.

- $\approx$ 16.000 cm
  $\psi_w = 16.000$ cm $\rightarrow pF = 4.2$
  Dit is een vochttoestand waarbij het water zò aan de grond is gebonden dat de wortels het water niet meer kunnen onttrekken. Als de grond zo droog is geworden gaat de plant blijvend verwelken. Dit wordt verwelkingspunt genoemd.
- 10^7 cm
  $\psi_w = 10^7$ cm $\rightarrow pF = 7$.
  Dit komt overeen met stofdroge grond, gedroogd bij 105 °C. Het vochtgehalte wordt nu geacht 0 te zijn.

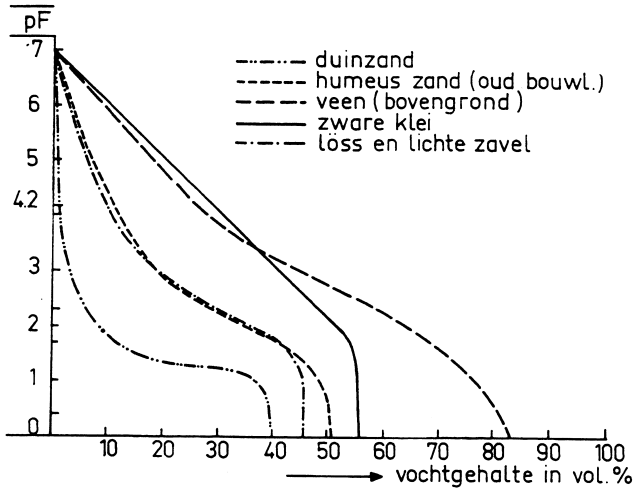


Fig. 7.9. Enige pF-curven

Iedere grondsoort heeft zijn eigen karakteristieke *pF*-curve (fig. 7.9).
Uit de *pF*-curve kan het volgende worden afgelezen:

1) Het totale poriënvolume ($pF = -\infty$). Voor goede plantengroei dient dit maximaal 40% te zijn.
2) Het luchtgehalte bij veldcapaciteit $pF = 2{,}0$. Dit is van belang voor de luchtvoorziening van de wortels. Deze moet minimaal 10% zijn.
3) De beschikbare hoeveelheid vocht bij een diepe grondwaterstand (> 2,5 à 3 m). Deze hoeveelheid vocht wordt bepaald door (fig. 7.8):
   - vochtgehalte tussen $pF = 2{,}0$ en $pF = 4{,}2$,
   - bewortelingsdiepte; meestal wordt gerekend met de effectieve wortelzone, dat is het deel van de grond dat 80% van de wortels bevat.

   Voor enkele Nederlandse gronden is in tabel 7.3 de hoeveelheid in de wortelzone beschikbaar vocht weergegeven.
4 Het vochtgehalteprofiel van de grond (fig. 7.10).
5) De stroming in de onverzadigde zone.

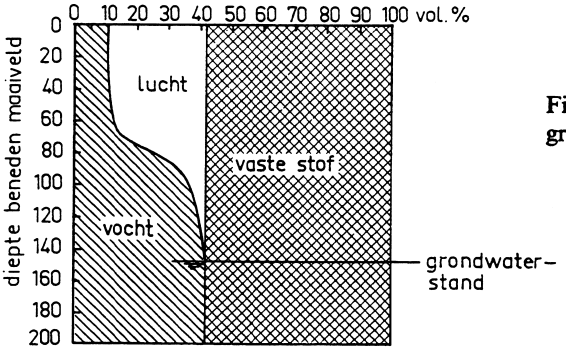


Fig. 7.10. Vochtgehalteprofiel van een grond in evenwichtstoestand

Tabel 7.3. Hoeveelheid beschikbaar vocht voor enkele Nederlandse grondsoorten in mm per 10 cm laagdikte van $pF = 2{,}0$ tot $pF = 4{,}2$ [7-12]

humusarm duinzand	7 mm/dm
humusarm fijnzandig leemarm dekzand	15 mm/dm
matig humeus leemarm dekzand	19 mm/dm
matig humeus sterk lemig dekzand	24 mm/dm
zeer humeus leemarm dekzand	22 mm/dm
zeer humeus sterk lemig dekzand	26 mm/dm
zeer lichte zavel	22 mm/dm
matig lichte zavel	21 mm/dm
zware zavel	19 mm/dm
lichte klei	16 mm/dm
zware klei	14 mm/dm

7.2.3 Stroming in de onverzadigde zone

In de vorige paragraaf is het bodemvocht in de onverzadigde zone statisch benaderd. Er is sprake van een evenwichtstoestand, waarbij geen stroming optreedt. Er vindt in werkelijkheid echter wel stroming plaats. Evenals voor stroming in de verzadigde zone geldt ook voor stroming in de onverzadigde zone de wet van Darcy:

$$v = -K \cdot i \tag{7.1}$$

waarin:

v = hoeveelheid water per eenheid van oppervlak, per tijdseenheid (m/s)
K = onverzadigde doorlatendheid of capillair geleidingsvermogen (cm/etm)
i = potentiaalverschil, de zuigspanning per eenheid van lengte

Stroming in de onverzadigde zone vindt alleen plaats in met water gevulde poriën. De doorlatendheid in de met water verzadigde bodem is een constante, die afhankelijk is van de grond. De onverzadigde doorlatendheid is geen constante maar hangt sterk af van het vochtgehalte θ en de vochtspanning ψ. Door verschillende onderzoekers zijn empirische formules ontwikkeld waarin de relatie tussen K en ψ is weergegeven [7-13]. Onverzadigde stroming vindt plaats als er een drijvende kracht aanwezig is in de vorm van een potentiaal-verschil. Bij stroming in een verticaal vlak, die voor de vochttoelevering voor beplanting van belang is, is het nodig onderscheid te maken tussen het potentiaalverschil veroorzaakt door de zwaartekracht (z) en die veroorzaakt door de vochtspanning (ψ):

$$H = z + \psi \tag{7.2}$$

Voor verticale stroming geldt dan:

$$v_c = -K \frac{dH}{dz} \tag{7.3}$$

$$v_c = -K \frac{d(\psi + z)}{dz} = -K\left(\frac{d\psi}{dz} + 1\right) \tag{7.4}$$

Combinatie van de stromingsvergelijking met de empirische uitdrukking voor K levert voor iedere grondsoort een verband op tussen z, ψ en v_c. Door Rijtema zijn tabellen gemaakt waarin voor verschillende stroomsnelheden ($= v_c$) de waarden zijn gegeven van de hoogten boven de grondwaterspiegel ($= z$) waarop bepaalde vochtspanningen optreden. De tabellen zijn gegeven voor 20 standaardgronden (tabel 7.4 en 7.5).
Grof zand heeft slechts een geringe stijghoogte. Bij een grondwaterstand dieper dan ca 60 cm beneden de wortelzone (z) is er nauwelijks sprake van vochttransport (tabel 7.4).

Tabel 7.4. Waarden voor de hoogte boven de grondwaterspiegel (z) bij gegeven waarde voor v_c en ψ voor matig grof zand (standaardgrond nr. 2) [7-13]

		V(cm/etm^{-1})	0,5	0,4	0,3	0,2	0,15	0,1	0,06	0,02
ψ	θ	z								
cm	vol.%	cm								
20	30,0		19,8	19,8	19,9	19,9	19,9	19,9	20,0	20,0
50	16,0		42,9	43,9	45,0	46,3	47,1	47,9	48,7	49,5
100	9,5		46,4	48,0	50,1	53,0	55,1	58,0	61,7	69,7
250	6,2		46,5	48,2	50,3	53,3	55,5	58,7	62,8	73,0
500	5,2		46,6	48,2	50,4	53,3	55,8	59,1	63,5	74,9
1.000	3,8		46,6	48,3	50,5	53,7	56,0	59,4	64,0	76,3
2.500	3,1		46,7	48,4	50,6	53,8	56,1	59,6	64,4	77,5
5.000	2,5		46,7	48,4	50,6	53,9	56,2	59,7	64,6	78,2
10.000	2,0		46,7	48,4	50,7	53,9	56,3	59,9	64,8	78,8
16.000	1,7		46,7	48,5	50,7	54,0	56,4	59,9	64,9	79,1

Tabel 7.5. Waarden voor de hoogte boven de grondwaterspiegel (z) bij gegeven waarden voor v_c en ψ voor zavel (standaardgrond nr. 13) [7-13]

			0,5	0,4	0,3	0,2	0,15	0,1	0,06	0,02
ψ	θ	z								
cm	vol.%	cm								
20	48,3		17,7	18,2	18,6	19,0	19,3	19,5	19,7	19,9
50	46,7		42,2	43,5	45,0	46,5	47,3	48,2	48,9	49,6
100	42,0		74,0	77,7	82,1	87,0	89,9	92,9	95,6	98,5
250	28,1		102,6	111,0	122,1	137,8	148,8	164,0	182,0	214,3
500	24,8		104,6	113,7	125,7	143,1	155,7	174,2	198,4	256,5
1.000	21.3		105,9	115,3	127,8	146,3	160,1	180,6	209,1	287,2
2.000	16,7		107,0	116,7	129,7	149,1	163,8	186,2	218,3	314,4
5.000	14,2		107,7	117,5	130,7	150,7	165,9	189,4	223,7	330,5
10.000	11,6		108,2	118,2	131,6	152,0	167,7	192,0	228,0	343,5
16.000	9,8		108,5	118,5	132,1	152,7	168,6	193,4	230,3	350,5

Bij komklei geldt dit voor een grondwaterstand dieper dan ca 100 cm beneden de wortelzone. Is bij zavel echter de vochtspanning onderaan de wortelzone $\psi = 1000$ cm (pF 3,0) dan wordt bij een grondwaterstand van 150 cm beneden de wortelzone nog ca 2 mm vocht per etmaal aangevoerd (tabel 7.6).
De hoeveelheid voor de plant beschikbaar water wordt bij diepe grondwaterstanden bepaald door de hoeveelheid vocht tussen veldcapaciteit ($pF = 2{,}0$) en verwelkingspunt ($pF = 4{,}2$) over de hoogte van de wortelzone. Bij ondiepe grondwaterstanden (<2 à 3 m) vindt een extra toelevering plaats door middel van capillaire opstijging van vocht. De stroming vindt plaats doordat, uitgaande van een evenwichtssituatie in het voorjaar, door evapotranspiratie het evenwicht wordt verbroken. Er ontstaat een opwaarts gerichte vochtspanningsgradiënt die de drijvende kracht vormt voor de capillaire stroming. Door de opstijging van het vocht treedt over de gehele hoogte tot aan de grondwaterstand een vochtspanningsgradiënt op. Door opstijgen van het vocht daalt de grondwaterstand, waardoor bij gelijkblijvende vochtspanningsverschillen de hoogte waarover het vocht moet worden nageleverd wordt vergroot. De opstijging neemt dan af, de grond droogt enigszins uit en het capillair geleidingsvermogen neemt af. Er ontstaat een steeds verdere daling van de grondwaterstand en uitdroging van de grond.
In fig. 7.11 is schematisch de voorjaars- en najaarstoestand van een bodem weergegeven. In het voorjaar is de bodem op veldcapaciteit. In deze evenwichtssituatie vindt geen stroming plaats ($v_c = 0$).
Hieruit volgt:

$$v_c = -K\left(\frac{d\psi}{dz} + 1\right) = 0$$

$$\frac{d\psi}{dz} = -1 \quad \rightarrow \psi = -z$$

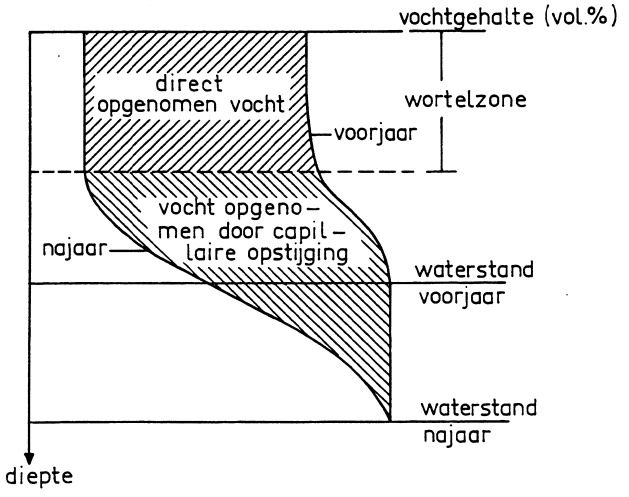


Fig. 7.11. Schematische voorstelling van het voor- en najaarsvochtprofiel van de bodem

Dit betekent dat in deze situatie de zuigspanning in de bodem gelijk is aan de plaatshoogte ten opzichte van de grondwaterspiegel. Dit geldt tot 1 m boven de grondwaterstand. Daarboven blijft de vochtspanning gelijk aan $pF = 2$. In het najaar (einde groeiseizoen) is de grondwaterstand op z'n laagst, evenals het vochtgehalte in het profiel. Het verschil tussen het voorjaarsvochtgehalteprofiel en het najaarsvochtgehalteprofiel is de hoeveelheid vocht die aan de plant ten goede is gekomen (fig. 7.11).

Van belang voor de hoogte waarover vocht vanaf de grondwaterstand kan worden getransporteerd, is de profielopbouw. Wind heeft voor verschillende profielverlopen de hoogte boven de grondwaterstand berekend, waarop nog een capillair vochttransport $v_c = 2$ mm/etm mogelijk is [7-14]. In de landbouw is een capillaire bijdrage van 2 mm/etm wenselijk. Het niveau van deze capillaire opstijging is in fig. 7.12 aangegeven. In kleigrond kan een stroming van 2 mm/etm een maximale hoogte bereiken van 63 cm (*c*). In klei bedekt met een laag zand is de stijghoogte kleiner (*A*).
Wanneer daarentegen klei op zand ligt neemt de stijghoogte toe in vergelijking met zand alleen (G ten opzichte van E). De grootste hoogte wordt bereikt bij zogenaamde aflopende profielen van klei op zavel op zand (J). Dergelijke gronden staan bekend als opdrachtige gronden. De profielen A en D tonen het nut van zand onder de kruipruimte van woningen. De profielen G, I en J tonen het principe van een grondverbetering bij een met zand opgehoogd terrein.

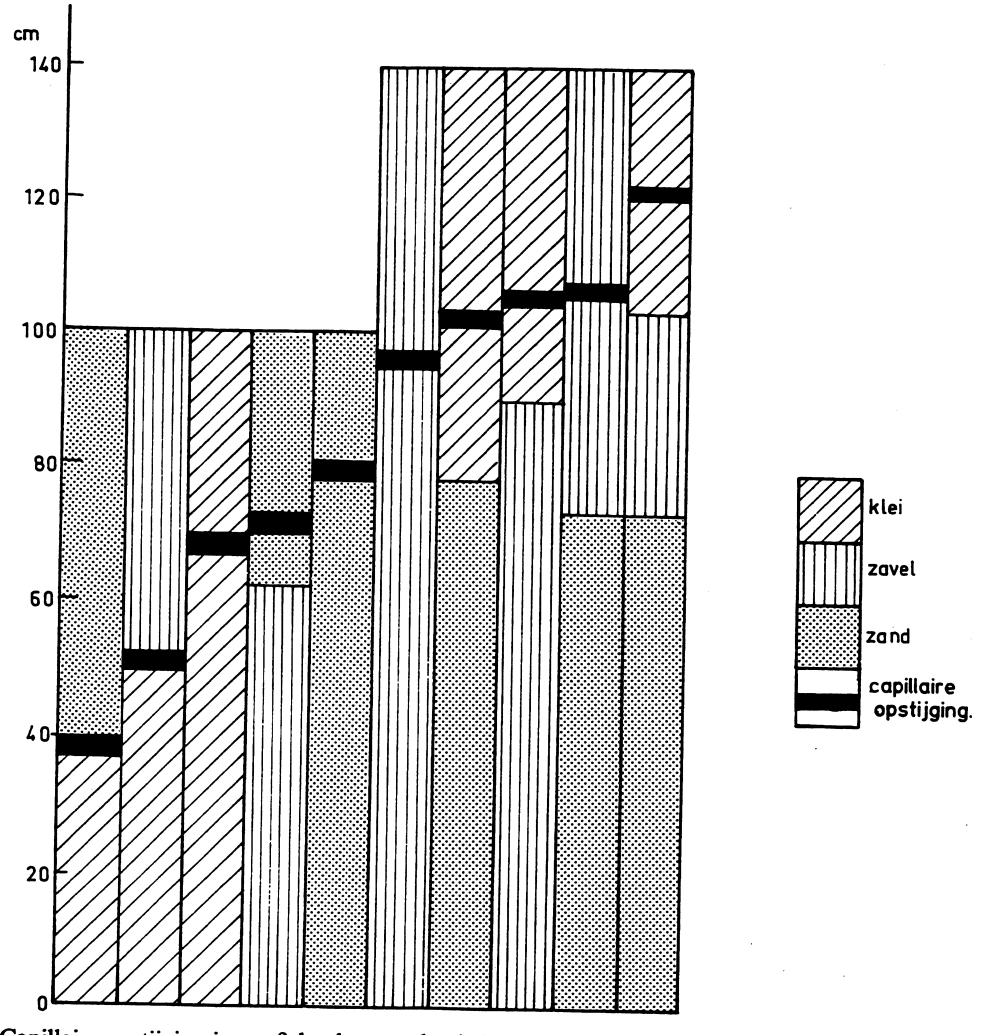


Fig. 7.12. Capillaire opstijging in profielen bestaande uit klei, zavel en zand. De dikke zwarte lijnen geven de hoogte boven de grondwaterstand aan die wordt bereikt bij een stroming van 2 mm/etm [7-14]

Voorbeeld beschikbaar bodemvocht na grondverbetering op een zandophoging
Gegeven een bodemprofiel bestaande uit 0,40 m zavel op een vrij grove zandondergrond. De grondwaterstand in het voorjaar is 0,70 m beneden maaiveld (fig. 7.13). Van de zavel en het zand zijn de *pF*-curven bekend (fig. 7.14). Allereerst kan bepaald worden hoeveel vocht in de wortelzone beschikbaar is. De wortelzone wordt veelal bepaald door het bodemprofiel; in het gegeven profiel valt de wortelzone samen met de zavellaag. De hoeveelheid vocht wordt bepaald als verschil tussen de vochtgehalteprofielen in voorjaar en najaar. De voorjaarstoestand volgt uit de *pF*-curve volgens:

$\psi = z$ en $pF = {}^{10}\log \psi$

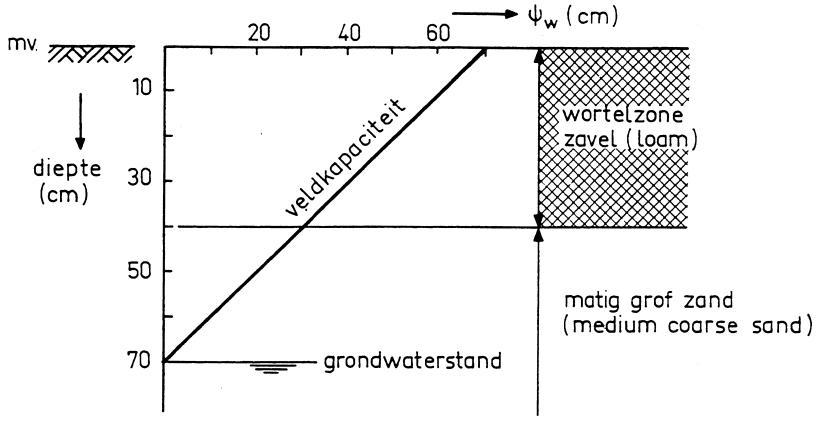


Fig. 7.13. Bodemprofiel en vochtspanningsverloop

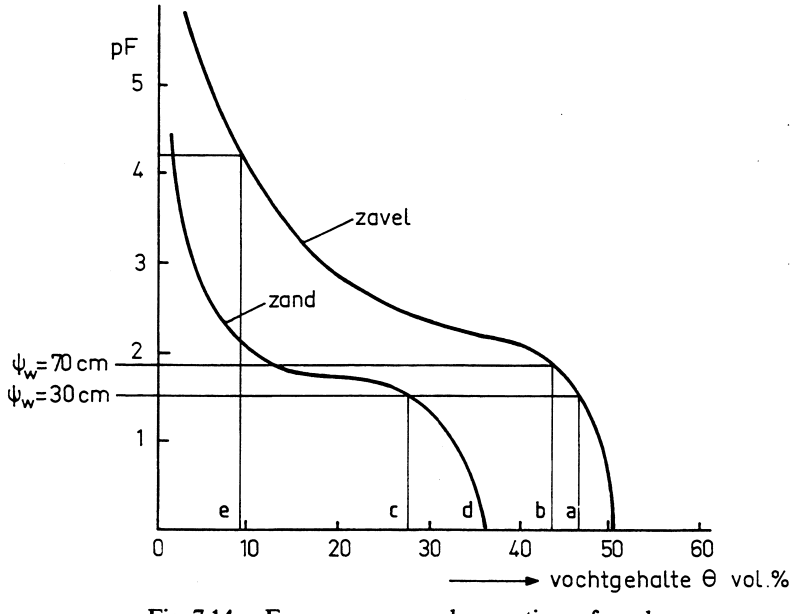


Fig. 7.14. pF-curven van zavel en matig grof zand

Voor de najaarssituatie wordt aangenomen dat de bewortelde zone uitdroogt tot *pF* 4,2. Uit het bodemprofiel en de *pF*-curve zijn de bijbehorende vochtgehalteprofielen te construeren (fig. 7.15). Door opmeting van het gearceerde oppervlak in de wortelzone kan de hoeveelheid vocht worden bepaald (142 mm). Er vindt ook capillaire opstijging van vocht naar de wortelzone plaats. Ter bepaling van die hoeveelheid worden de vochtgehalteprofielen in het voorjaar en bij toelevering met een bepaalde capillaire opstijging v_c geconstrueerd (fig. 7.15). Deze vochtgehalteprofielen kunnen worden geconstrueerd met behulp van de tabellen 7.4 en 7.5. Uit opmeting blijkt dat de ondergrond ongeveer 40 m levert. Totaal is 182 mm vocht beschikbaar (zie ook tabel 7.7).

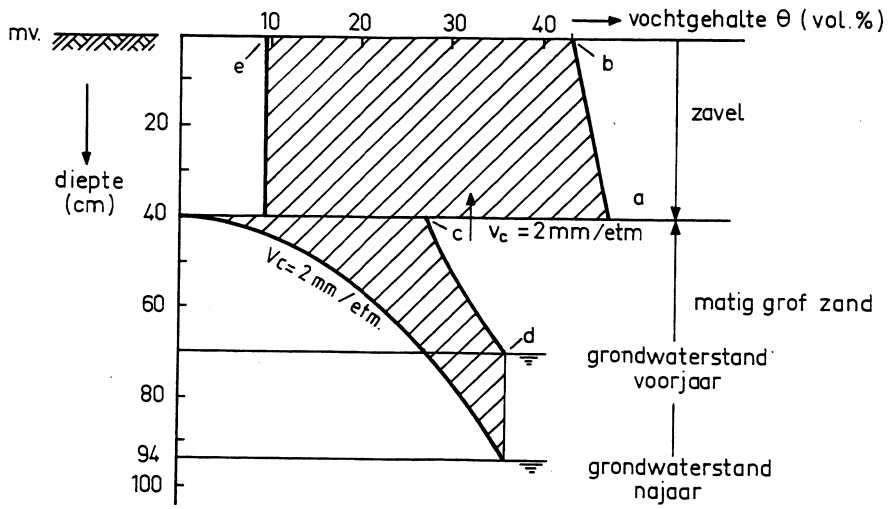


Fig. 7.15. Vochtgehalteprofielen bij capillaire opstijging, v_c = 2,0 mm/etm

Er is op basis van gewaswaarnemingen, grondwaterstanden, profielopbouw en vochtverdeling in het profiel voor een aantal grondsoorten de zogenaamde kritische z-afstand vastgesteld (tabel 7.6). De kritische z-afstand is de maximale afstand waarover nog een voor de vochtvoorziening van het gewas voldoende capillaire aanvoer naar de wortelzone plaatsvindt (2 mm/etm).

Tabel 7.6. Z-afstanden voor een capillaire opstijging v_c = 2 mm/etm in een aantal typen ondergrond [7-12]

Aard ondergrond	z-afstanden in cm	
	gemiddeld	spreiding
Kleiarm zeezand	40	30– 50
Kleiig zeezand	70	50–100
Leemarm dekzand	70	50– 90
Zwak lemig dekzand	110	90–140
Sterk lemig dekzand	160	140–250
Lichte zavel	130	100–180
Zware zavel	90	90–120
Lichte klei	70	60–100
Matig zware klei	60	50– 80
Zeer zware klei	40	30– 60
Oud veenmosveen	30	10– 40
Zeggeveen	40	30– 60

7.3 Maatregelen ter verbetering van het groeimilieu

7.3.1 Inleiding, problemen en normen

Voor een goede groei van het stedelijk groen zijn dus nodig [7-12, 7-15]:
- voedingsstoffen,
- een goed ontwikkeld wortelstelsel,
- water en lucht.

Ook moet variatie in de abiotische milieufactoren (bodem en water) worden aangebracht om een gevarieerde planten en dierenwereld mogelijk te maken (par. 7.1.3). Voordat maatregelen uitgevoerd worden is veelal een verreden bouwterrein het uitgangspunt. De grond bestaat uit een pakket ophoogzand op het oorspronkelijk

maaiveld of men treft een oorspronkelijk maaiveld aan dat sterk verstoord is door bouwactiviteiten.

Spuitzand is doorgaans zeer arm aan voedingsstoffen. Deze groeifactor kan door bemesting eenvoudig worden verbeterd.

Zoals in par. 7.2. reeds behandeld is, zijn de bewortelingsdiepte en de bewortelingsdichtheid van belang. De voornaamste factoren die een belemmerende invloed hebben op de beworteling, zijn een geringe aeratie, een geringe hoeveelheid beschikbaar vocht en een hoge mechanische weerstand. Dit laatste is van belang omdat wortels bij hun groei de gronddeeltjes uit elkaar moeten dringen, voor zover ze geen gebruik kunnen maken van aanwezige poriën. Opgespoten zand heeft een zeer dichte pakking, met een poriënvolume van minder dan 40%, hetgeen beworteling uitsluit. Per as opgehoogde terreinen hebben een betrekkelijk losse pakking, waardoor beworteling goed mogelijk is, tenzij het zand sterk is bereden of in natte omstandigheden is aangebracht. De weerstand van de grond tegen mechanische vervorming wordt gemeten met de indringingsweerstand van een de grond ingedrukte conus. Vaak wordt een penetrograaf gebruikt met een conus van 1 cm^2. Beworteling is doorgaans mogelijk als de met deze conus gemeten weerstand niet groter is dan 3 MPa (30 kgf/cm^2). In fig. 7.16 zijn indringingsweerstanden van een aantal gronden weergegeven. De figuren A en B geven stedelijke gronden die vrij los zijn. De figuren C en D geven stedelijke gronden met zeer dichte pakking.

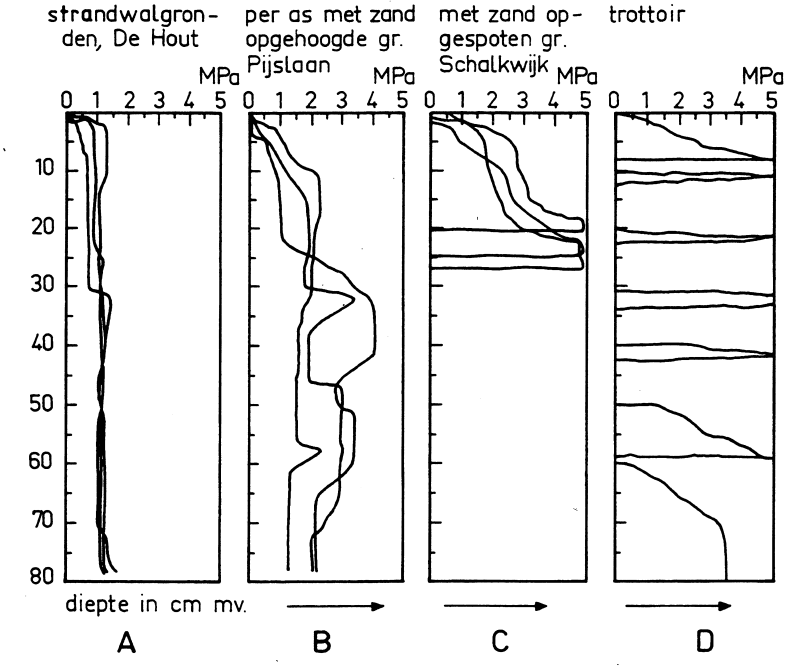


Fig. 7.16. Indringingsweerstand van een aantal gronden in Haarlem [7-12]

Het zuurstofgehalte van de bodemlucht is belangrijk voor het functioneren van de wortels. Gebleken is dat in het groeiseizoen het zuurstofgehalte groter moet zijn dan 10%.
Om een voldoende hoog zuurstofgehalte in de bodemlucht te houden moet zuurstof vanuit de atmosfeer worden aangevoerd. Het belangrijkste proces hiervoor is diffusie. Verdichte zandgronden en dichte plaveisels als asfalt hebben een zeer hoge weerstand tegen deze diffusie.
Beschadiging van leidingen is zeer gevaarlijk voor de beplanting. Lekkages van gaslei-

dingen hebben bijvoorbeeld de dood betekend van vele straatbomen. De aanwezigheid van kabels en leidingen behoeft op zich zelf geen belemmering voor een goede ontwikkeling van de beplanting te zijn. Schade, vooral wortelbeschadiging, treedt echter vaak op bij herstelwerkzaamheden. Overleg in een vroeg stadium van het ontwerp en van de werkzaamheden is van belang om schade te voorkomen.

Het bouwrijp maken van terreinen houdt vaak het dieper ontwateren van het bouwterrein in (hoofdstuk 5). Dieper ontwateren verhoogt echter de kans op droogteschade. In stedelijke gebieden is het niet mogelijk een normering voor het groen op te stellen gerelateerd aan opbrengstgegevens, zoals in de landbouw wel mogelijk is. Er bestaan geen landelijke normen. De groei behoeft niet maximaal te zijn, maar wel goed. Rijniersce [7-15] geeft als norm dat een bevredigende groei mogelijk is indien de beplanting in niet meer dan 10% van de jaren te leiden heeft van droogte. Dit betekent dat de totale hoeveelheid beschikbaar vocht in het profiel ongeveer 200 mm moet bedragen (par. 3.2.4, fig. 3.11). Voor bomen en struiken is daarbij een bewortelingsdiepte aan te houden gelijk aan de toegepaste bewerkingsdiepte en voor gras een diepte van 0,40 m.
Egalisatie geeft veel problemen voor het stedelijk groen. De bodemgeschiktheid voor beplanting gaat sterk achteruit als men slordig omspringt met de humeuze bovengrond en deze gebruikt om laagten op te hogen en sloten te dempen. Ook zetting van snipper- en blokgroen geeft veel problemen. Bij periodiek ophogen van straten komt het groen laag te liggen, hetgeen veel wateroverlast met zich meebrengt, of de plantsoenen en tuinen moeten ook worden opgehoogd. Dit laatste geeft veel ongerief en brengt hoge kosten met zich mee. Voorkómen van zettingen tijdens de bewoning door bijvoorbeeld zettingsversnelling kan deze problemen uit de weg gaan.

Het formuleren van normen met betrekking tot stedelijk groen is niet goed mogelijk omdat variatie in de abiotische factoren juist gewenst is.

7.3.2 Verbeteringsmaatregelen
Er moet naar worden gestreefd de bodemgesteldheid en waterhuishouding niet nadelig te beïnvloeden op plaatsen waar stedelijk groen is gesitueerd. Dat betekent onder andere dat grotere groenelementen buiten de integrale ophoging moeten worden gehouden (par. 4.2 [7-16]). Ook moeten terreinen, indien ze voor beplantingen bestemd zijn, buiten bouwverkeer en opslag worden gehouden in verband met de daardoor veroorzaakte achteruitgang van de bodem. Een probleem is, zeker bij integraal ophogen, dat op het tijdstip dat het grondwerk wordt uitgevoerd de planvorming veelal nog niet zover is gevorderd dat precies bekend is waar het groen wordt gesitueerd.
Een aantal verbeteringsmaatregelen kunnen worden uitgevoerd, zowel om te voldoen aan de noodzakelijke levensvoorwaarden voor het groen als om een gevarieerd milieu te maken:
- bodemtechnische maatregelen,
- civiel-technische maatregelen,
- waterhuishoudkundige maatregelen; grondwater en oppervlaktewater.

Bodemtechnische maatregelen
Bij niet met zand opgehoogde terreinen kunnen verdichting en afname van de doorlatendheid voor zowel lucht als water opgelost worden door de grond te frezen en door de grond om te zetten met een kraan.

Met zand opgehoogde terreinen zullen moeten worden verbeterd in verband met het geringe vochthoudend vermogen van het zand (par. 7.2.3). Men heeft de keuze uit een viertal verbeteringsmogelijkheden [7-15, 7-17]:

1) Weggraven van het zand zodat het oorspronkelijke maaiveld weer boven komt.
2) Opbrengen van een laag zwarte grond, nadat eventueel een gedeelte van het zand is weggegraven.
3) Opbrengen van een dunne laag zwarte grond die gemengd wordt met een gedeelte van het onderliggende zand.
4) Bovenploegen van zwarte grond vanonder de zandlaag, eventueel gevolgd door menging.

Het opgebrachte zand kan worden weggegraven indien het oorspronkelijke maaiveld voldoende hoog boven het open waterpeil ligt om een voldoende diepe ontwatering mogelijk te maken. Ook moeten nog geen kabels en leidingen in het terrein zijn aangebracht. Tevens moet de ontgraving stedebouwkundig inpasbaar zijn. Deze methode is alleen toepasbaar voor grotere groengebieden. Indien van te voren de plaats bekend is, dan kunnen de grotere gebieden echter beter en goedkoper uit de ophoging worden uitgespaard (par. 4.2). Deze te ontgraven gebieden kunnen eventueel gebruikt worden als tijdelijk zanddepot voor later in het bouwterrein te verwerken zand.
Het opbrengen van een laag zwarte grond geeft een profiel dat altijd kan voldoen aan de gestelde norm van vochthoudendvermogen. De methode is toepasbaar op zeer kleine oppervlakken. Het probleem van deze methode is de hoge kosten en de noodzaak om over voldoende grond te beschikken. Deze methode moet daarom afgewogen worden tegen de derde verbeteringsmogelijkheid, het opbrengen van een dunnere laag zwarte grond welke wordt gemengd met een gedeelte van het onderliggende zand. Door Rijniersce is bepaald wat de verschillende hoeveelheden beschikbaar vocht zijn bij het opbrengen van verschillende hoeveelheden zavel en verschillende mengdiepten, uitgaande van een voorjaarsgrondwaterstand van 1,00 m beneden maaiveld (tabel 7.7) [7-15]. Uit de tabel blijkt dat eenzelfde hoeveelheid vocht op verschillende manieren is te verkrijgen. Naarmate er minder zavel wordt opgebracht moet ter compensatie dieper worden gemengd. Uit de studie blijkt dat hoe minder zavel er wordt opgebracht en hoe dieper er dus moet worden gemengd, hoe goedkoper de maatregel is. Hierbij moet echter nog worden opgemerkt dat de dikte ook bepaald wordt door de grondbalans omdat aanvoer of afvoer van grond extra kosten met zich meebrengt.

Tabel 7.7. Hoeveelheden beschikbaar vocht (mm) bij het opbrengen van verschillende hoeveelheden zavel en verschillende mengdiepten, uitgaande van een voorjaarsgrondwaterstand van 1,00 m ÷ m.v. Bewortelingsdiepte = mengdiepte [7-15]

Mengdiepte in cm	Zavellaag in cm				
	0	10	20	30	40
30	42	61	79	97	–
40	72	89	107	125	144
50	100	118	136	153	171
60	128	144	161	178	195
70	153	169	185	200	216
80	189	201	215	229	242

Men kan de zwarte grond ook halen van onder de zandlaag, door diepploegen. Deze methode is toe te passen als de oppervlakte niet te klein is en kabels en leidingen ontbreken. De boven te ploegen grond moet van goede kwaliteit zijn en de zandlaag niet dikker dan ongeveer 1 m. Bij deze uitgangspunten moet echter ook overwogen worden of de groengebieden niet beter uit de ophoging kunnen worden uitgespaard. Indien in verband met de hoogteligging van het terrein een uitsparing in een ophoging niet mogelijk is, dan verdient de methode van diepploegen uit kostenoverwegingen de voorkeur.

Door bodemtechnische maatregelen, zoals losmaken van zand, afgraven, opbrengen van rijke grond en mengen, kan variatie in de bodemgesteldheid worden aangebracht (fig. 7.17). Door de hoeveelheid op te brengen of af te graven of te mengen grond te variëren ontstaan verschillen in voedselrijkdom en vochtvoorraad.

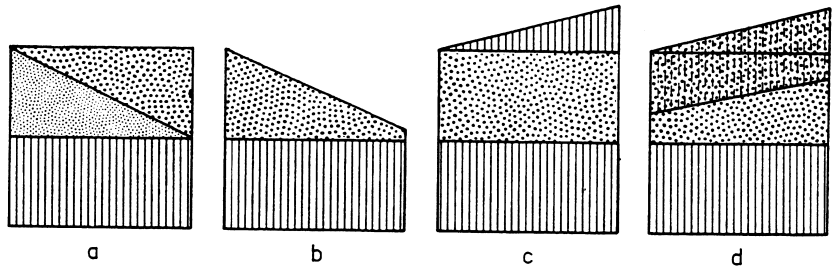


Fig. 7.17. Variatiemogelijkheden in de bodemgesteldheid door losmaken van zand (a), afgraven van zand (b), opbrengen van rijke grond (c) en als c met mengen van zand en rijke grond (d) [7-20]

Voor bomen gelden ook eisen van een goede vochtvoorziening, beluchting en doorwortelbaarheid.
Bij straatbomen zal het grootste deel van het plantgat bestraat zijn, de ondergrond van de bestrating bestaat meestal uit een laag zand. Ook hier geldt dat beworteling mogelijk is als de indringingsweerstand de 3 MPa niet overschrijdt. Het zand voor het plantgat van een straatboom moet 3–5% humus bevatten om wortelgroei mogelijk te maken en om toch voldoende draagkracht te bezitten [7-18]. Bij een ongestoorde en vruchtbare grond is de gewenste horizontale afmeting van een plantgat 1 × 1 m.
Indien de grondwaterstand binnen 1,00 à 1,50 m beneden maaiveld ligt, dan moet het plantgat tot aan het grondwater reiken. Indien de grond is verdicht dan dient een plantruimte van 2 × 2 × 1 m te worden losgemaakt. Om bodemverdichting tegen te gaan kan rondom het centrum van het plantgat ter grootte van 1 m^2 een mengsel van humeus zand en lavabrokken of geëxpandeerde kleikorrels worden aangebracht.

Bij een grondwaterstand van 1,00 à 1,50 m beneden maaiveld kan een boom in de boven beschreven plantgaten voldoende vocht uit de wortelzone en via capillaire opstijging verkrijgen. Ligt de grondwaterstand dieper, dan verdienen ondiepere plantgaten met dezelfde kubieke inhoud de voorkeur.
Bebelaar heeft aangetoond dat bij straatverharding met elementen (klinkers, straatstenen) een groot deel van de neerslag infiltreert, zodat vochttoevoer verzekerd is [7-19]. Bij de plantgaten van bomen in de verharding moeten ventilatievoorzieningen worden aangebracht. Ventilatiekokers met een diameter van 16 cm en een perforatiegraad van 30 à 40% voldoen goed. Rondom de buis moet een bedekkingsmateriaal worden aangebracht om dichtslibben te voorkomen. Voor de doorluchting van het plantgat moet een boomspiegel van 1 m^2 worden aangehouden. Als verharding rondom de boom nodig is dan moeten ventilatietegels, boomtegels of grasstenen worden aangebracht.

Civiel-technische maatregelen
Variatie in bodem en waterhuishouding kan worden aangebracht door gebruik te maken van de erosie- en sedimentatieprocessen die zich bij een zandopspuiting voordoen [7-16, 7-21]. Het principe van de variatiemogelijkheden is in fig. 7.18 aangegeven. Daar is de variatie aangegeven in reliëf en korrelgrootte vanaf een spuitmond, zoals dat bij opspuiten kan ontstaan.
Een voorbeeld van het op deze wijze maken van een gevarieerd abiotisch milieu is de gradiënt van zand naar klei [7-21]. De overgang van een zandstort naar de omgeving vormt doorgaans een scherp grensmilieu. Door de kade van het zandstort gedeeltelijk

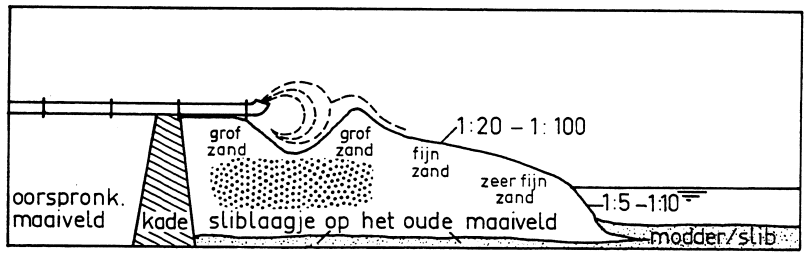


Fig. 7.18. Voorbeeld van het reliëf en het verloop van de korrelgrootte nabij de spuitmond [7-21]

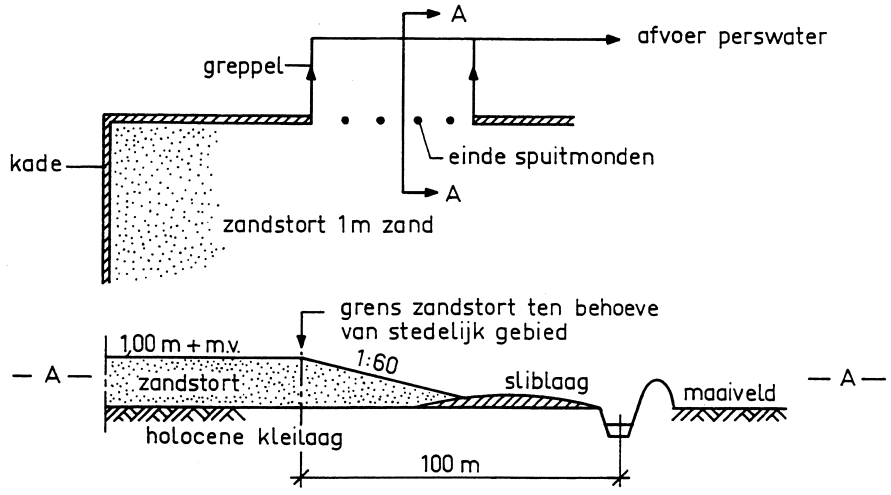


Fig. 7.19. Een geleidelijke overgang van zand naar klei, ontstaan door weglaten van een gedeelte van de kade van een zandstort [7-21]

weg te laten, zal op die plaats een geleidelijker overgang van zand naar de oorspronkelijke kleibodem ontstaan (fig. 7.19). Het gevolg is dat er meer verschillende soorten planten en dieren een voor hen passend milieu zullen aantreffen. Voor de afvoer van overtollig perswater dient een vooraf gegraven greppel. Het begin van de zandopspuiting moet vlak bij de onderbreking in de kade liggen, om te voorkomen dat het perswater bij de verdere opspuiting steeds over dit gebied met de geleidelijke overgang zal blijven afstromen. Egalisatie met bulldozers moet achterwege blijven. Op grond van literatuurgegevens van vegetaties elders in Nederland is een grove indicatie voor de twee extreme milieutypen te geven, te weten het arme droge milieutype en het rijke natte milieutype. De ontwikkeling van de vegetatie op langere termijn is alleen door onderzoek na te gaan.

Onderzoek in een bosvegetatie op opgespoten zand in Lelystad is hiervan een voorbeeld [7-22]. Smit concludeert dat het aanbeveling verdient om bij stedelijke beplanting vaker gebruik te maken van de bijzondere potenties van opgespoten zand zonder grondverbetering. In het onderzochte gebied zijn 76 plantensoorten waargenomen, waaronder 4 zeldzame, met waarde voor het natuurbehoud. Zandopspuitingen blijken ook bijzonder aantrekkelijk als broedplaats voor een aantal vogelsoorten wanneer de samenstelling van het opspuitmateriaal gunstig is; het zand mag niet stuiven [7-23].

In fig. 7.21 en 7.22 is de natuurlijke ontwikkeling van de in fig. 7.19 afgebeelde gradiënt weergegeven [7-24]. Wanneer de sliblaag in het vochtige voedselrijke gedeelte droogvalt (mei/juni) zullen smalbladige wilgen kunnen kiemen. Deze kunnen in korte tijd uitgroeien tot een wilgenpionierbos, als er niet wordt gemaaid. Op langere termijn is de ontwikkeling van een essenbos te voorzien. In de stedelijke omgeving kan de ontwikkeling van een spontaan wilgenbos direct na het droogvallen van de slibvang een bijdrage leveren aan het vóór de bewoning maken van groen.

Waterhuishoudkundige maatregelen – grondwater

Variaties in de waterhuishouding zijn mogelijk door verschillen aan te brengen in het drainagesysteem en in het peilregime van het open water. Bovendien kan variatie in waterkwaliteit ontstaan door de lozing van vervuild water op bepaalde plaatsen te concentreren.

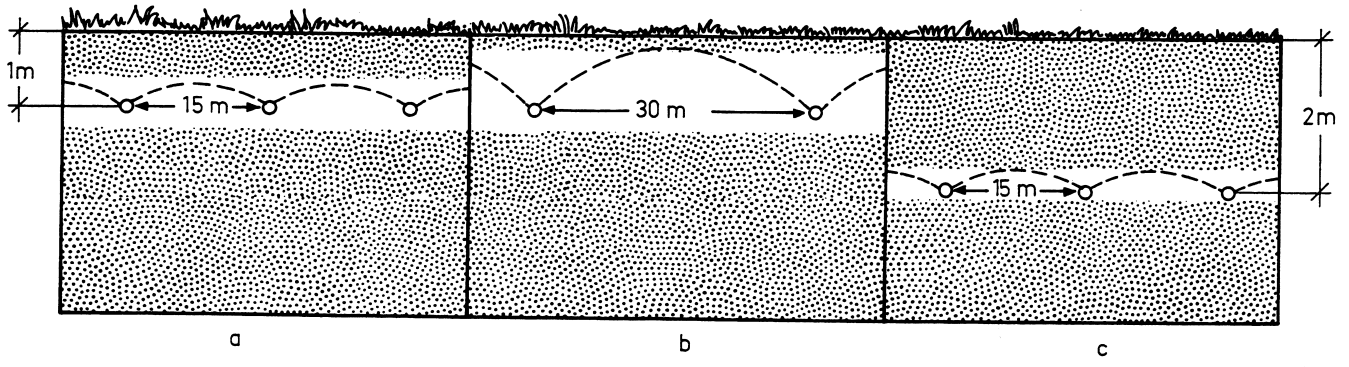
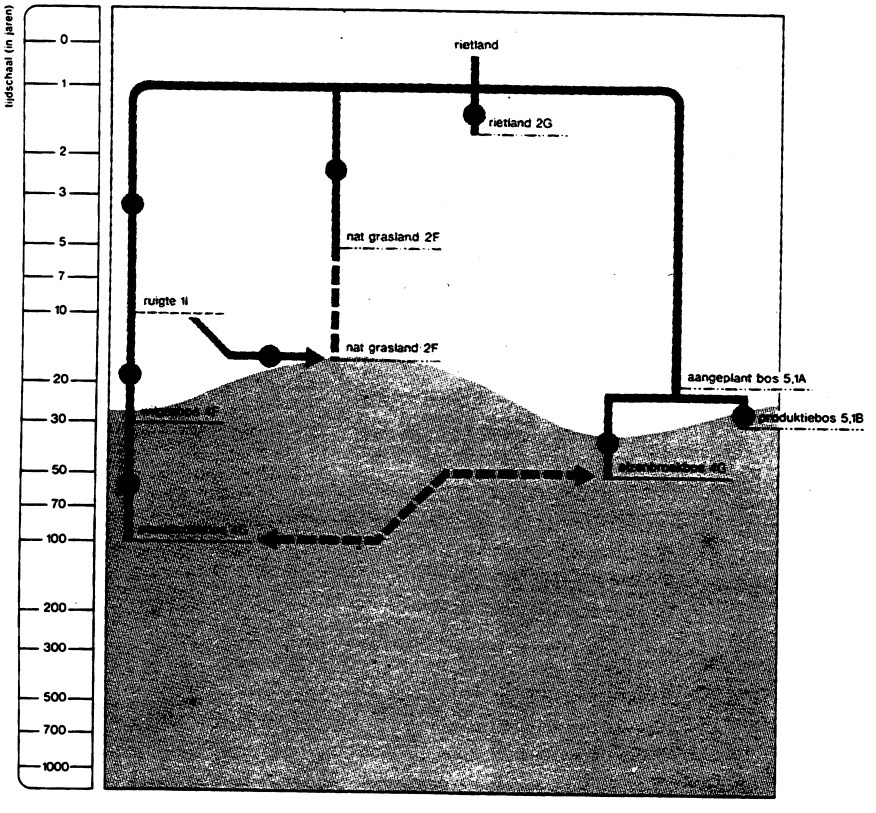


Fig. 7.20. Een aantal variaties in het drainagesysteem:
a. normale drainageafstand en diepte;
b. vergrote drainageafstand en
c. vergrote diepte [7-20]

In fig. 7.20 zijn een aantal variaties in het drainagesysteem aangegeven. Van belang voor de ontwikkeling van de begroeiing zijn de diepte van de grondwaterstand en de fluctuaties hierin. Beide factoren beïnvloeden de vochtvoorziening, de warmtehuishouding en de mineralenhuishouding. De fig. 7.21, 7.22, 7.23 en 7.24 illustreren de waarschijnlijke consequenties van de verschillen in bodem en waterhuishouding.



Beheer:

- ① natuurlijke ontwikkeling
- ② maaien
- ③ inzaaien en maaien
- ④ aanplanten van bomen
- ⑤ houtteeltkundig beheer

Minimumgroottes

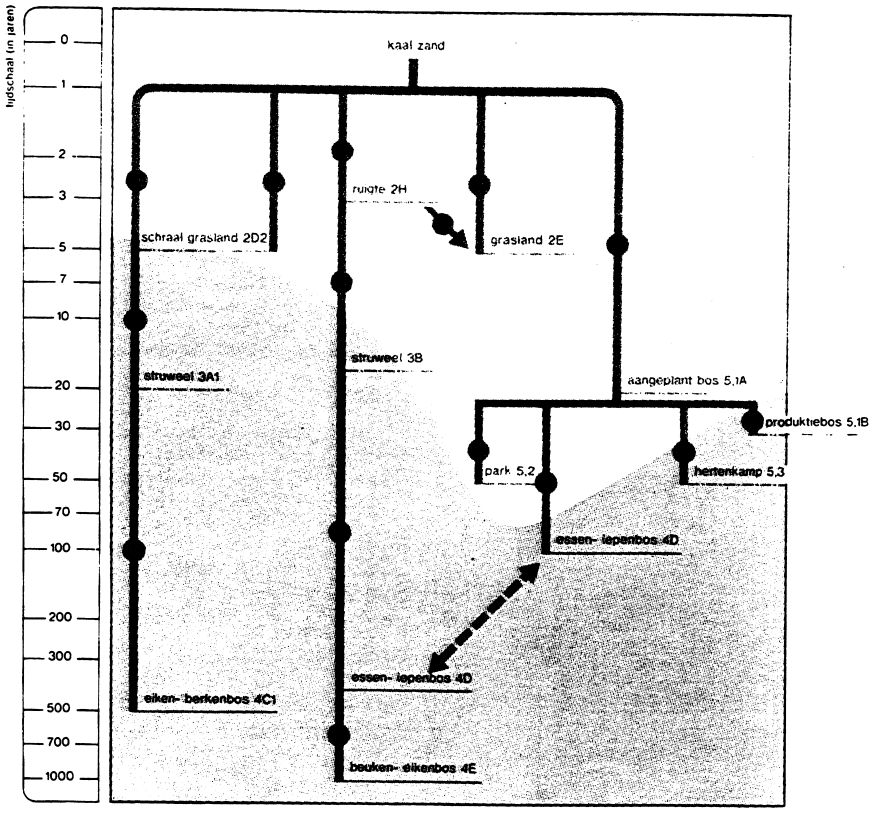
- 1–10 ha
- 10–20 ha
- 20–50 ha
- > 50 ha

Vergelijkbare oecosystemen

De cijfers achter de diverse oecosystemen verwijzen naar de paragraaf, waar deze nader worden besproken.

Beperkte ontwatering (= nat); niet opspuiten (= rijke grond)

Fig. 7.21. Oecosysteem dat kan worden verwacht, uitgaande van het abiotische milieu 'Rijke grond met beperkte ontwatering' [7-24]



Normale ontwatering (= droog); opspuiten (= arme grond)

Beheer:

- ① natuurlijke ontwikkeling
- ② loswoelen van het zand
- ③ idem + opbrengen rijke grond
- ④ 3 + inzaaien
- ⑤ 3 + aanplanten van bomen
- ⑥ maaien en inzaaien
- ⑦ plaatselijk kappen
- ⑧ idem + omheinen
- ⑨ houtteeltkundig beheer

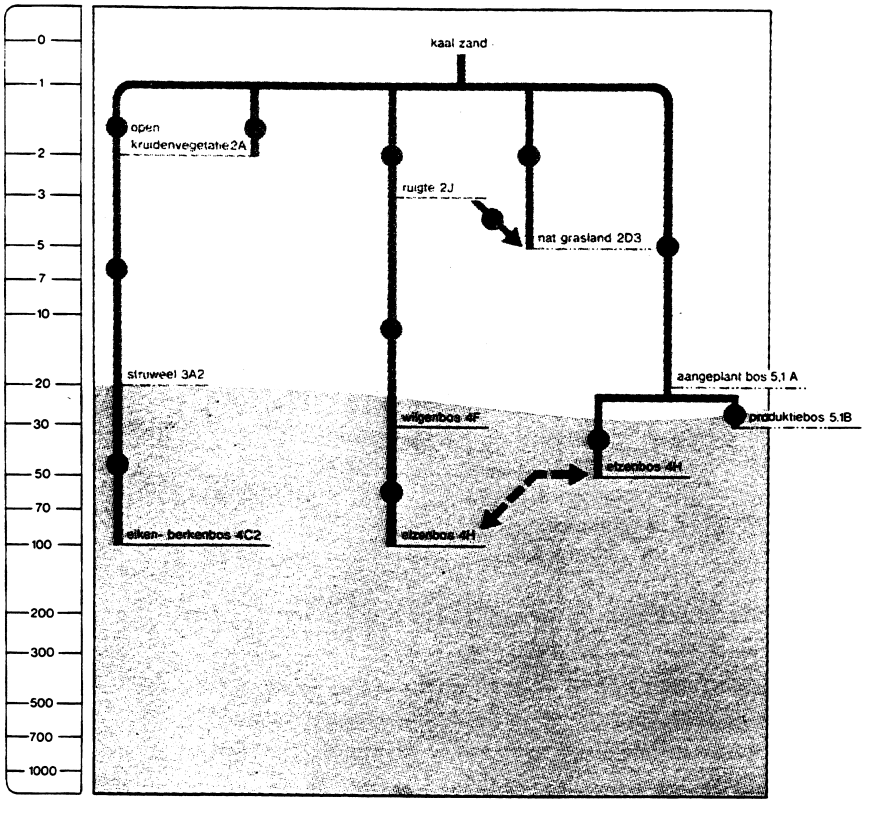
Minimumgroottes

- 1-10 ha
- 10-20 ha
- 20-50 ha
- > 50 ha

↔ Vergelijkbare oecosystemen

De cijfers en letters achter de diverse oecosystemen verwijzen naar de paragraaf waar deze nader worden besproken.

Fig. 7.22. Oecosysteem dat kan worden verwacht, uitgaande van het abiotische milieu 'Arme grond met goede ontwatering' [7-24]



Beperkte ontwatering (= nat); opspuiten (= arme grond)

Beheer:

- ① natuurlijke ontwikkeling
- ② loswoelen van het zand
- ③ idem + opbrengen rijke grond
- ④ 3 + inzaaien
- ⑤ 3 + aanplanten van bomen
- ⑥ maaien en inzaaien
- ⑦ houtteeltkundig beheer

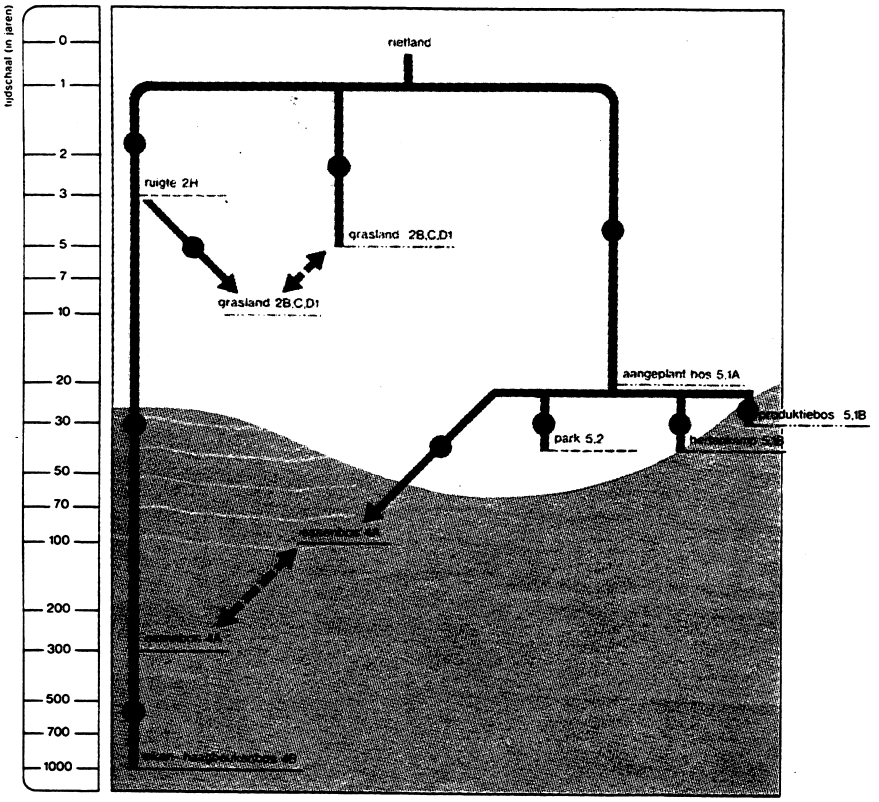
Minimumgroottes

- 1-10 ha
- 10-20 ha
- 20-50 ha
- > 50 ha

↔ Vergelijkbare oecosystemen

De cijfers achter de diverse oecosystemen verwijzen naar de paragraaf, waar deze nader worden besproken.

Fig. 7.23. Oecosysteem dat kan worden verwacht, uitgaande van het abiotische milieu 'Arme grond met beperkte ontwatering' [7-24]



Beheer:

- ① natuurlijke ontwikkeling
- ② inzaaien en maaien
- ③ maaien
- ④ aanplanten van bomen
- ⑤ plaatselijk kappen
- ⑥ idem + omheinen
- ⑦ houtteeltk. beheer

Minimumgroottes

- 1-10 ha
- 10-20 ha
- 20-50 ha
- > 50 ha

↔ te vergelijken oecosystemen

De cijfers en letters achter de verschillende oecosystemen verwijzen naar de paragraaf, waar deze nader worden besproken.

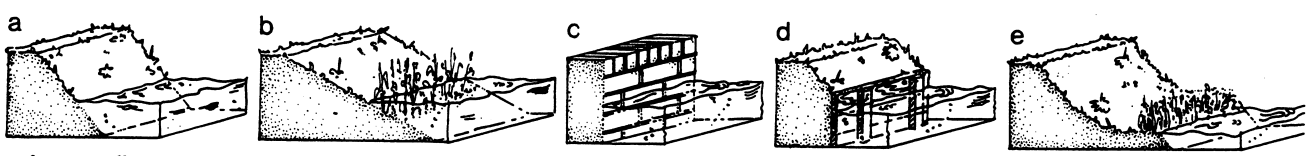
Voorbeeld:
Essenbos - 4A, wordt behandeld in paragraaf 6.4. sub a
Ruigte - 2H, wordt behandeld in paragraaf 6.2. sub h.

Fig. 7.24. Oecosysteem dat kan worden verwacht, uitgaande van het abiotische milieu 'Rijke grond met goede ontwatering' [7-24]

Normale ontwatering (= droog); niet opspuiten (= rijke grond)

Waterhuishoudkundige maatregelen – oppervlakte water

Variatie in vorm, afmeting, oevers (fig. 7.25) en diepte kan een rijker planten- en dierenleven tot gevolg hebben. De waterhuishouding van het open water en het aangrenzende land wordt gekarakteriseerd door het niveau van het water, de tijdsduur van een bepaald niveau en de fluctuaties in het waterniveau. Ook wordt dit overgangsmilieu in belangrijke mate beïnvloed door waterbewegingen door afvoer van water, door windwerking en eventueel door scheepvaart. Tenslotte is de waterkwaliteit op dit milieu van invloed.



a. 'normaal' b. 'flauw hellend talud' c. kade d. beschoeiing e. met 'voorland'

Fig. 7.25. Variatie in oevers

De natuurlijke oever- en watervegetatie is zeer gedifferentieerd ten gevolge van de grote verscheidenheid in abiotische milieufactoren. De water- en oevervegetatie heeft één algemene karakteristiek en dat is een zonering min of meer loodrecht op de oeverlijn. Deze zonering komt voornamelijk tot stand door fluctuaties in het waterniveau en door de variatie in grondwaterstand in de oever. Beschrijvingen van te verwachten vegetatietypen zijn gegeven door Loenen [7-24] en Van Acht [7-25].
Het overgangsmilieu tussen water en land bestaat in stedelijke gebieden vaak uit kademuren. Op deze muren kan zich een rijke vegetatie ontwikkelen. Deze muurvege-

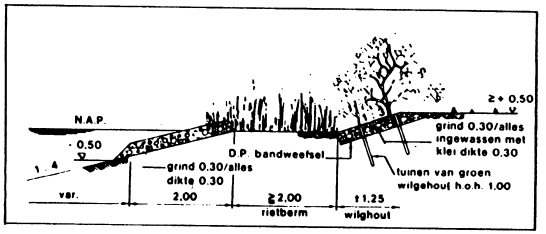
taties ontwikkelen zich het best op muren die met kalkspecies zijn gemetseld en enige tijd aan verwering hebben blootgestaan. Tegenwoordig worden kademuren veelal met Portlandspecie gemetseld, die echter minder geschikt is vanwege de hardheid en het lage kalkgehalte. De invloed van de cement bleek onder andere uit een proefneming in Utrecht waar een muur gedeeltelijk met kalkspecie en gedeeltelijk met Portlandspecie werd gemetseld. Op het gedeelte met kalkspecie gemetseld trad na korte tijd groenwiervorming op.

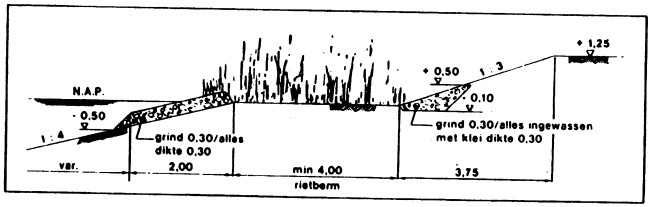
Wat betreft het vóórkomen van bepaalde soorten watervogels kunnen de volgende oevervormen worden onderscheiden:
- Steile oevers, begroeid met oever- en waterplanten, tot grote waterdiepte. Deze zijn vooral geschikt voor duikende watervogels.
- Flauwe oevers met een meer of minder brede vegetatiegordel, eventueel met modderbanken. Deze zijn vooral geschikt voor grondel-eenden, meeuwen en reigers.
- Onbegroeide steile oevers. Deze zijn geschikt voor holenbroeders.
- Onbegroeide flauwe oevers met zand- en puinbanken, geschikt voor oeverloper, visdief en kleine plevier.
- Onbegroeide flauwe oevers met modderige, slikkige plaatsen, geschikt voor steltlopers en meeuwen.

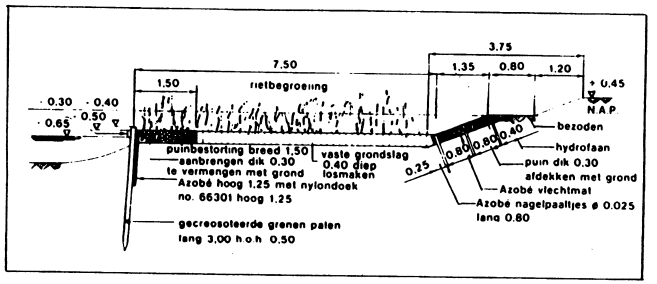
Voor watervogels zijn voedselkeuze, fourageermogelijkheden en nestgelegenheden van belang [7-5]:

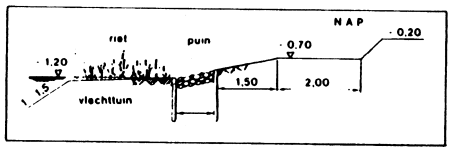
Futen:	fourageren tot ca 7 m waterdiepte; voedsel is vis.
Zwanen:	voedsel bestaat uit wortels en knollen van waterplanten die groeien in water ondieper dan 1 meter.
Zwemeenden:	voedsel, bestaat uit macrofauna, plankton en planten in het water of op de bodem van ondiep water (10–20 cm).
Duikeenden:	(toppereend, kuifeend, tafeleend en brilduiker) fourageren tot ongeveer 4 meter diepte; voedsel bestaat uit macrofauna, plankton en vis.
Rallen:	voorkeur voor dichte begroeiing; voedsel is voornamelijk macrofauna uit ondiepe oeverzone.
Waadvogels:	(plevieren, scholekster, kluut) fourageren op macrofauna nabij oeverlijn in minder dan 20 cm diep water.
Zangvogels:	(kleine karakiet, rietgors) leven vooral in rietzomen langs de oever.
Holenbroeders:	de oeverzwaluw maakt zijn nest bij voorkeur in een hol in een steile oever; het voedsel bestaat uit insecten. De ijsvogel nestelt op gelijke wijze als de oeverzwaluw en fourageert op vis in helder, ondiep water.

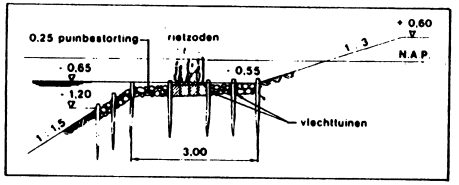
Het overgangsgebied van water naar land staat bloot aan erosie en sedimentatie. Hierdoor komt een grote verscheidenheid voor aan oevervormen. Om het waterlopensysteem in stand te houden wordt een oeverbescherming aangelegd (fig. 7.26). Ook vegetatie heeft een stabiliserend effect op een oever. Op basis van praktijkervaring kan voor specifieke gevallen tot op zekere hoogte voorspeld worden in hoeverre het stabiliserende effect van beplanting voldoende is. Een uitvoerige bespreking van mogelijkheden wordt gegeven door Van Acht [7-5]. Uitgebreidere toepassing zal definitief uitsluitsel geven over de effectiviteit van een bepaalde methode. In het algemeen geldt dat een oeverbescherming door middel van plantenmateriaal tot de goedkoopste oplossingen behoort, zowel wat betreft de aanlegkosten als ook de onderhoudskosten. Vegetatie heeft naast de bescherming van de oever positieve ecologische en esthetische neveneffecten. Wanneer bijvoorbeeld een oever wordt beschermd met een rietgordel betekent dit tegelijkertijd dat ecotopen voor dieren ontstaan en dat een bijdrage wordt geleverd aan de waterreiniging en aan de verfraaiing van het beeld. Een ander voordeel van deze oeverbescherming is, dat wanneer de bescherming afdoende functioneert, er

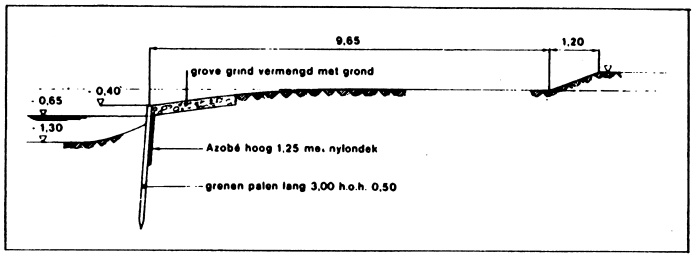


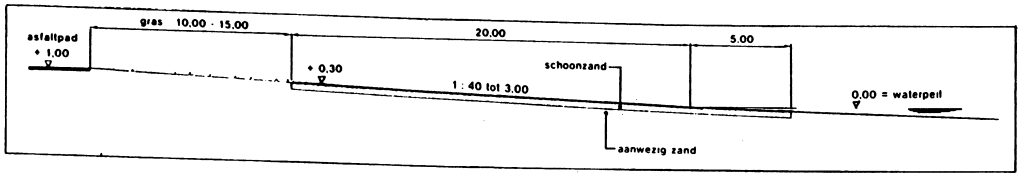












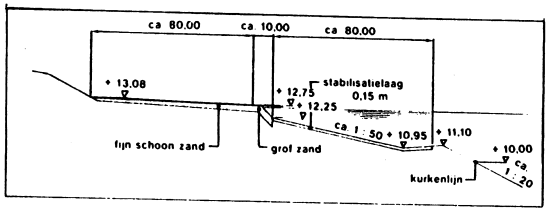
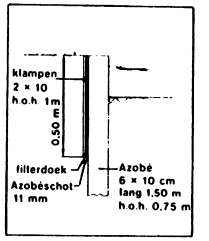
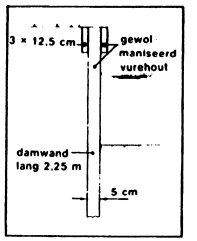
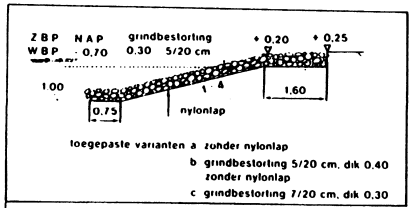
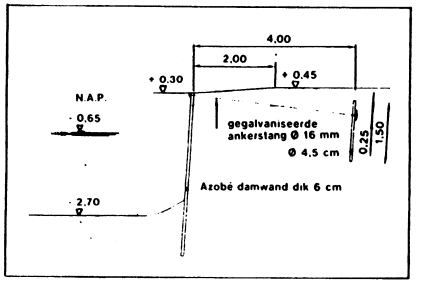


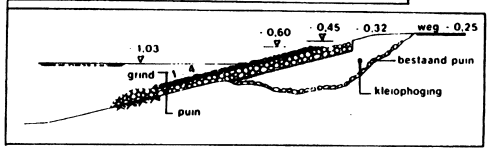
fig. 98











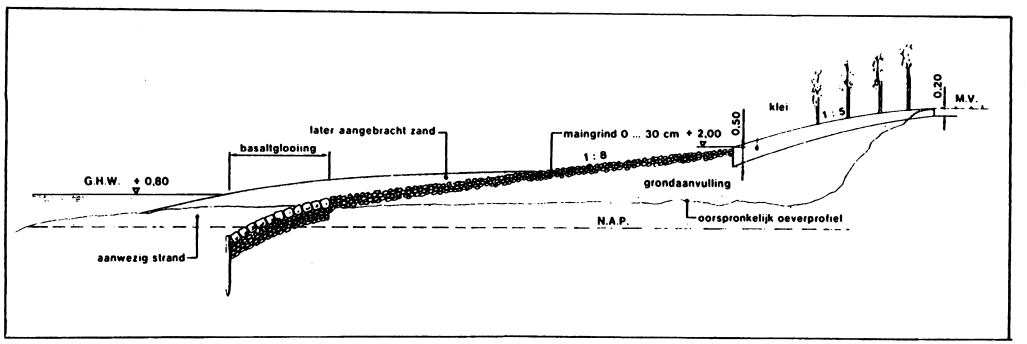


Fig. 7.26. Oeverbescherming

geen of nauwelijks verwering en verval optreedt. De vegetatie zal door de eigen ontwikkeling zorg dragen voor een toenemende stabiliteit. Aan gebruik van planten als oeverbescherming zijn ook enige nadelen verbonden. Het toepassingsgebied van planten is kleiner dan dat van bouwmaterialen als hout en beton. Niet overal zijn goede levensvoorwaarden voor planten aanwezig en bepaalde objecten staan bloot aan te grote krachten. Bovendien is de werkzaamheid direct na aanleg klein. Pas na enkele jaren wordt een optimale werking verkregen. De werking zal ook in de winter minder groot zijn, omdat de planten dan gedeeltelijk afsterven. Tot slot, er is meer ruimte nodig en een oevervegetatie kan een verzamelplaats van vuil zijn.

In geval een oever met vegetatie niet bestand is tegen de optredende erosieve krachten, dan moeten andere middelen worden ingezet. Deze andere middelen worden verwerkt als verticale constructie of op andere wijze:
Verticale constructies vormen een abrupte overgang van water naar land. Hierbij worden onderscheiden:
- rijshoutconstructies;
- gesloten palenrijen, met daarachter puin, graszoden of filterdoek;
- houten vlechtmatten met kunststoffilterdoek;
- horizontaal aangebrachte planken;
- houten damplanken, veelal alleen in scheepvaartwegen.

De hoogte waarover dergelijke constructies worden aangebracht varieert van enkele decimeters zoals bij rijshout of azobé vlechtmatconstructies, tot enkele meters zoals bij kademuren en damwanden. Naarmate de overgang van water naar land over grotere hoogte verspringt zijn minder mogelijkheden voor planten en dieren aanwezig. Bovendien kunnen hoge verticale constructies voor overstekend wild (reeën, hazen) onneembare barrières vormen. Zij kunnen na het open water zwemmend te zijn overgestoken vaak niet meer op het droge komen. Dit geldt uiteraard vooral buiten het stedelijk gebied. Dit probleem kan door middel van de aanleg van milieubermen en wildtrappen worden opgelost.
De overige constructies omvatten alle niet-verticale constructies. Dit zijn:
- doorgroeiconstructies, waarbij doorgroei van planten door de constructie van belang is voor het functioneren van de constructie;
- bestortingen met puin, stenen, slakken en grind;
- zetsteenconstructies;
- dichte constructies.

De overgang van water naar land verloopt bij deze constructies minder abrupt dan bij verticale constructies. De oeverzone is daardoor groter. Dit betekent ook dat een groter oppervlak beschikbaar is voor planten en dieren. Of echter geschikte milieus ontstaan voor bepaalde soorten, is afhankelijk van constructiewijze en van materiaalgebruik.
Doorgroeiconstructies belemmeren groei van hogere planten. Hoe sterk dit belemmerd wordt is afhankelijk van de mate van bodembedekking. De bodembedekking door gasbetonprodukten is tamelijk groot. De bedekking door vezelprodukten is verschillend. Matten zullen de plantengroei weinig of niet belemmeren, terwijl filterdoeken dit in grotere mate doen. Zetsteenconstructies en bestortingen behoren evenals doorgroeiconstructies tot de open oeverbeschermingen. De bodembedekking hierbij is echter zo groot, dat hogere planten zich moeilijk kunnen vestigen. De bedekking heeft veelal een onregelmatig oppervlak en tussen het materiaal zijn tal van openingen en naden aanwezig. Door inwaaiing van grond- en stofdeeltjes worden naden en openingen opgevuld, waardoor vestiging van planten mogelijk wordt.
Op dichte oeverbeschermingsconstructies zullen zich alleen hogere planten kunnen vestigen op plaatsen waar grond- en stofdeeltjes zijn opgewaaid.
Behalve groei van plantensoorten in het oorspronkelijk aanwezige of ingewaaide materiaal en het vóórkomen van daarmee verbonden diersoorten, wordt nieuw mate-

riaal toegevoegd in de vorm van het gebruikte materiaal. Hierop of hieronder kunnen zich allerlei organismen vestigen. De onderkant van stenen bieden een onderkomen aan zeer veel dieren. Op de bovenkant van stenen ontwikkelen zich allerlei soorten algen.
Naar de geschiktheid van kunststofprodukten voor de vestiging van allerlei organismen is nog weinig onderzoek gedaan.

Samenvattend kan gesteld worden dat levensmogelijkheden van planten en dieren worden bevorderd door beschermingsconstructies aan te leggen, met een geringe bodembedekking en een ruw oppervlak en door een grote variatie in materiaalgebruik.

7.4 Begraafplaatsen

In de 'Wet op de lijkbezorging' zijn normen gesteld ten aanzien van verschillende technische aspecten van het begraven, zoals:
- de afstand tussen de kisten, zowel in dwars- en lengterichting als verticaal van tenminste 0,30 m;
  een gronddekking van de bovenste kist van tenminste 0,65 m;
- een minimumtermijn voor het ruimen van graven van 10 jaar.

De wetgever gaat er vanuit dat de lichamen binnen 10 jaar geheel zullen zijn vergaan.

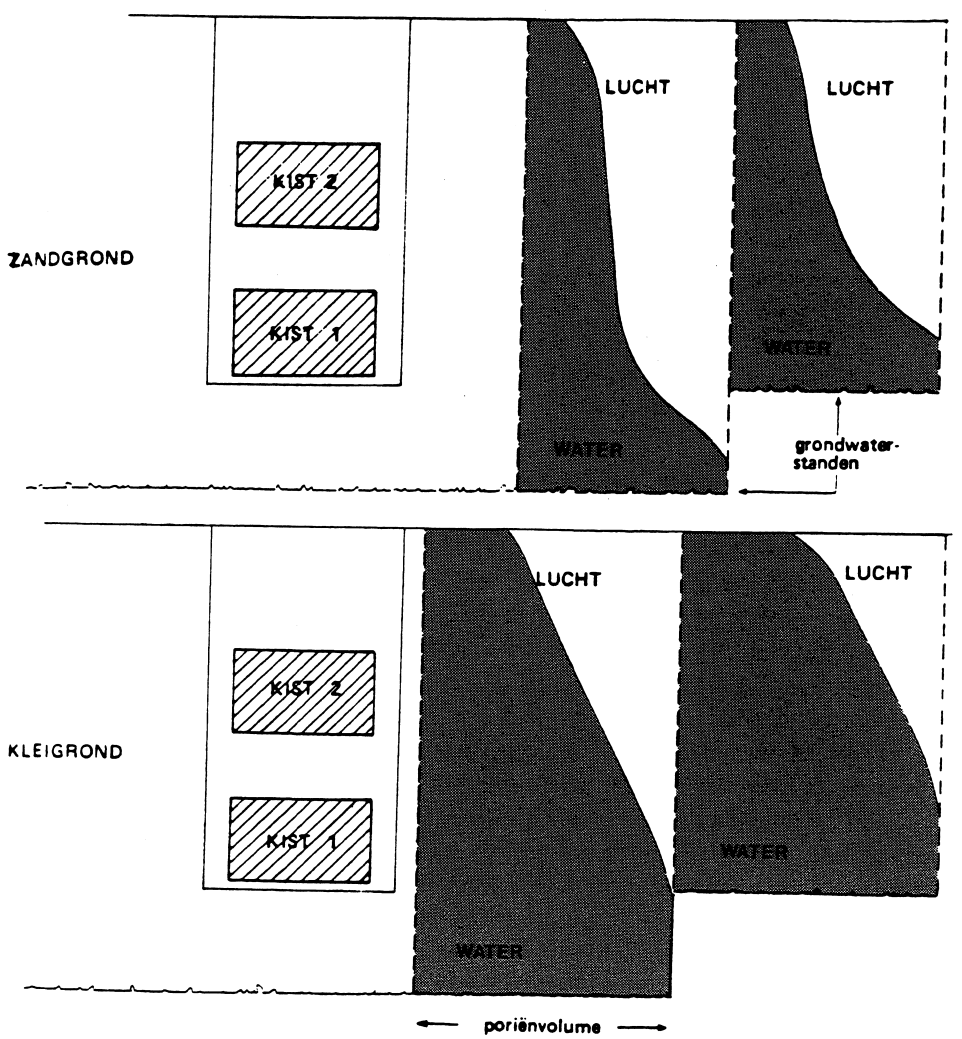


Fig. 7.27. Bodemvocht en de begraafplaats [7-26]

De werkelijkheid blijkt echter anders te zijn. Voor een goede vertering is het nodig dat voor een goede gaswisseling wordt zorggedragen. Er moet voldoende zuurstof worden toegevoerd en gasvormige afvalprodukten, in hoofdzaak CO_2, moet kunnen ontwijken. Het gastransport is onder andere afhankelijk van het watervrije poriënvolume van de grond (fig. 7.27). Een grofkorrelige grondsoort en een goede ontwateringstoestand is dan ook gewenst voor iedere begraafplaats. Een goed gedraineerde zandgrond of zandophoging is dan ook een voorwaarde [7-26, 7-27].
Terreinophogingen zijn kostbaar zodat afgewogen moet worden welke oplossing het beste is. Zo is het aantal lagen waarin begraven kan worden afhankelijk van de hoogteligging van het terrein en het waterpeil en de grondwaterstand. Wanneer in drie lagen wordt begraven dan is een zandpakket van 2,90 m boven het grondwater nodig:

– bovenste dekking	= 0,65 m
– drie maal de hoogte van een kist 3 × 0,45 m	= 1,35 m
– twee maal de afstand tussen een kist 2 × 0,30 m	= 0,60 m
– onderste kist 0,30 m boven grondwaterstand	= 0,30 m
	2,90 m

Dit is bijvoorbeeld een zandpakket van 3,30 m boven waterpeil met drains 0,10 m boven waterpeil op een afstand van 12 m.

7.5 Samenvatting

Stedelijke gebieden beïnvloeden de abiotische milieufactoren en daardoor eveneens de biotische milieufactoren: de planten- en dierenwereld. Het belangrijkste onderdeel is het stedelijk groen. De functies van het stedelijk groen worden kort beschreven. De laatste jaren is er een tendens om in stedelijk groen variatie aan te brengen door middel van natuurlijke ontwikkelingen op aanwezige dan wel aangebrachte variaties in het abiotische milieu. In het geval van bouwrijp maken van terreinen zijn deze abiotische factoren de bodem en het water. Beschreven wordt hoe deze factoren behandeld kunnen worden om gewenste natuurlijke processen op gang te brengen en blijvend te doen zijn. Om de gewenste maatregelen te kunnen begrijpen en ontwerpen is een goed inzicht nodig in de onderlinge relaties tussen grondwaterstand, bodemvocht, bodemstructuur, bodemlucht en in de relaties tussen deze factoren en de plantengroei. Hierop wordt in dit hoofdstuk uitgebreid ingegaan.

8 Kabels en leidingen

8.1 Inleiding

Tot het bouw- en woonrijp maken van terreinen behoort ook het leggen van de ondergrondse kabels en leidingen. De stelsels van kabels en leidingen bestaan uit:
- gasleidingen,
- elektriciteitskabels,
- communicatiekabels,
- waterleidingen,
- stadsverwarmingsleidingen,
- rioolstelsels,
- drainagestelsels,
- industrietransportleidingen.

Daarnaast zijn er mogelijke ontwikkelingen in de toekomst te verwachten, welke thans nog niet of sporadisch voorkomen. Hierbij valt te denken aan buizenpost en centrale huisvuilafvoer.
De relatie met de overige onderdelen van het bouw- en woonrijp maken is:
- Het grondwerk en de grondwaterstandbeheersing. De aanleg en het herstel van kabels en leidingen stellen eisen aan de bodemgesteldheid (hoofdstuk 4) en aan de grondwaterstand (hoofdstuk 5).
- Het ruimtegebruik. Aanleg en onderhoud van kabels en leidingen stellen eisen aan tracering en ruimtebeslag.
- De organisatie van het bouw- en woonrijp maken. De aanleg van kabels en leidingen moet een plaats krijgen in het totale proces van woonrijp maken.

In gebieden met nieuwbouw is een goede planning van ontwerp en uitvoering vereist en moet er een goede afstemming zijn tussen de bovengrondse en ondergrondse bestemmingen en infrastructuur. In oudere bebouwde gebieden is veelal een kris-kras gelegd stelsel aanwezig. Indien in het kader van straatvernieuwing twee of meer kabels en leidingen vernieuwd moeten worden, kan het gewenst zijn ook daar tot een betere indeling over te gaan.
Hoewel het geen vaste indeling betreft worden de volgende fasen onderscheiden:
- bouwrijp maken: verleggen van reeds aanwezige kabels en leidingen, aanleg van riolering en stadsverwarming;
- woonrijp maken: aanleg van de overige kabels en leidingen;
- eerste onderhoud of uitgestelde aanleg: herstelwerkzaamheden.

Gebruikelijk is dat eerst de eventueel aanwezige stadsverwarming en de riolering wordt gelegd, uitgezonderd de huis- en kolkaansluitingen. Deze leidingen worden gelegd tijdens de aanleg van de bouwstraten. Wanneer de bouwstraten met de daarop aansluitende ontsluitingswegen gereed zijn, wordt veelal langs de bouwstraten, een waterleidingnet en elektriciteitsnet aangelegd. Deze leidingen worden vóór de start van de woningbouw aangelegd om zogenaamd bouwwater en bouwstroom te kunnen leveren. De nutsbedrijven kunnen de transportleidingen in de hun toegemeten werkfase, vóór het afwerken van de bouwstraat, aanleggen.
In het algemeen worden de nog niet gelegde kabels en leidingen en de huisaansluitingen

gelegd in de fase van het woonrijp maken, direct na het gereedkomen van de bouw van de woningen en voorafgaande aan de afwerking van straten en woonomgeving. Zo wordt in gemeenten, voor de oplevering van de woningen, het terrein voor een periode van 6 tot 13 weken vrijgegeven om kabels en leidingen te leggen. Voor een vlekkeloze uitvoering is een gedetailleerde planning nodig van het hele project. Als voorbeeld wordt hier de tijdplanning van Gemeentewerken Rotterdam gegeven [8-1]:

- Uiterlijk 4½ maand voor de bouwkundige oplevering moeten de gegevens van het woonrijp maken beschikbaar zijn. Het betreft het bestek en tekeningen en werktekeningen van de nutsbedrijven. Deze laatste tekeningen kunnen gemaakt worden als de wegindelingstekening en wegenbouwtekeningen gereed zijn, welke weer afhankelijk zijn van het groenplan.
- De openbare aanbesteding vindt uiterlijk 4 maanden voor de oplevering plaats. De aanbestedingsprocedure kan 6 tot 8 weken duren.
- 8 weken voor de oplevering worden de huisspruiten gelegd door de bouwer of de huiseigenaar. Het openbaar terrein en de tuin van het uit te geven perceel worden door de bouwer ontruimd en 'harkschoon' opgeleverd. Vanaf dat moment is dit terrein ontoegankelijk voor de bouwer. Het secundair net van de Stadsverwarming wordt aangelegd.
- 7 weken voor de oplevering wordt de drinkwaterleiding gelegd. Deze wordt meestal als eerste gelegd in verband met het noodzakelijke keuren.
- 6 en 5 weken voor de oplevering worden de gas- en elektriciteitsleidingen gelegd en de leidingen opgeleverd aan de nutsbedrijven. De bouwleidingen worden overgezet op de distributieleidingen of worden verwijderd. Er wordt een begin gemaakt met het maken van de huisaansluitingen.
- 4 weken voor de oplevering worden de huisaansluitingen verder gemaakt en worden telefoon en centraal-antennesysteem aangelegd.
- De laatste 2 à 3 weken zijn beschikbaar voor het stellen van banden en kolken en voor het straatwerk.

Het aanleggen van de kabels en leidingen tijdens de fase van het woonrijp maken heeft als voordeel dat de kans op schade ten gevolge van andere werkzaamheden gering is. Als nadeel geldt de complexiteit van de organisatie en de strakke tijdplanning. De wens om zo snel mogelijk de woningen op te leveren heeft er toe geleid dat men de kabels en leidingen tijdens de bouw wil gaan aanleggen. Hierdoor ontstaan echter veelal grote problemen. Het trottoir is de plaats waar de kabels en leidingen gelegd moeten worden. Dit is tijdens de bouwfase de opslagplaats van bouwmaterialen. Het terrein is ook niet schoon, hetgeen veel hinder veroorzaakt. De indeling van de kabels en leidingen kan ook niet gemaakt worden als het groenplan niet definitief is vastgesteld.

De coördinatie van activiteiten ten aanzien van het ondergrondse leidingenstelsel wordt vaak uitgevoerd door de beheerder van de openbare ruimte, de afdeling wegen of bestratingen van de dienst der gemeentewerken. Deze afdeling coördineert ook vaak de planning van de aanleg.
Het is nodig dat de beheersafdeling een kaartsysteem bezit waarop alle kabels en leidingen staan ingetekend (grootschalige basiskaart, veelal 1 : 1000). Voordat graafwerkzaamheden in het terrein worden uitgevoerd moet nagegaan worden waar reeds kabels en leidingen liggen. Vaak wordt in een vroeg stadium van het ontwerp een coördinatiecommissie ingesteld waarin de belanghebbenden zitting hebben. Het betreft afdelingen van gemeentewerken, diensten en bedrijven (de eigenaren van de kabels en leidingen), PTT, politie, brandweer en reinigingsdienst. In een eerste fase worden de hoofdtracees bepaald. De meeste gemeenten hanteren een vaste indeling van de kabels en leidingen in de grond (par. 8.3). Een dergelijke indeling wordt dan als onderdeel van het programma van eisen vastgelegd. Bij de verdere uitwerking van de plannen, vooral wanneer tracé en vorm van de wegen bepaald worden, vindt een verdere detaillering

van het kabel- en leidingennet plaats, steeds met de gegeven indeling. Tijdens de uitvoering zijn er bouwvergaderingen waar de uitvoering besproken wordt en uitvoeringsproblemen opgelost worden.
De stedebouwkundige ontwerpers worden bij de ontwikkeling naar meer kleinschalig ontwerpen en ontwerpen met hogere dichtheden dikwijls geconfronteerd met de eisen van de beheerders van ondergrondse voorzieningen. Men dient met deze voorzieningen rekening te houden:

a. Bij gedifferentieerde vormgeving van straatprofielen. De ontwerpers ervaren de eisen ten gevolge van het ondergrondse leidingenstelsel soms als problematisch. Er ontstaan echter voor de diensten en bedrijven problemen met aanleg en onderhoud tengevolge van smalle woonstraatjes, vooral bij hoge dichtheden in stadsvernieuwingsgebieden.
b. Bij situering van speelplaatsen, boombeplanting, keerwanden en straatmeubilair.
c. Bij flexibele indeling van verkavelingen met mogelijkheden in een later stadium op initiatief van de bewoners de woonomgeving verder in te richten.
d. Bij het toepassen van openbare dan wel gemeenschappelijke achterpaden en vrijliggende voetpaden en rijwielpaden.
e. Bij het situeren van de door de diensten en bedrijven benodigde bovengrondse dienstruimten zoals hoogspanningsruimten, gasreduceerstations, versterkerkasten van het centraal-antennesysteem, enz.

Men dient steeds rekening te houden met de randvoorwaarden die het ondergrondse leidingenstelsel stelt.

In het hier volgende zal in het kort de opbouw van een aantal systemen worden uiteengezet. Vervolgens zal worden ingegaan op het ruimtebeslag en de tracering. Tenslotte zullen een aantal bijzondere elementen aan de orde komen. Het rioleringsstelsel en het drainagestelsel wordt hier niet besproken; zie daarvoor de hoofdstukken 5 en 6.

8.2 Kabel- en leidingensystemen

8.2.1 Het gasnet

Het gas wordt door de Gasunie geleverd aan regionale of gemeentelijke gasbedrijven. De Gasunie levert het gas via het hoofdtransportnet onder een druk van 80–40 bar (1 bar = 1 atmosfeer). De drukhoogte varieert met het seizoen. Het regionale of gemeentelijke net is, afhankelijk van de grootte van het afzetgebied, via één of meer gasontvangstations op het Gasunienet aangesloten. In de gasontvangstations wordt de druk gereduceerd tot 3 à 8 bar en via een distributienet wordt een gebruikersgebied ontsloten. In het distributienet zijn gasreduceerstations of gasdrukregelstations opge-

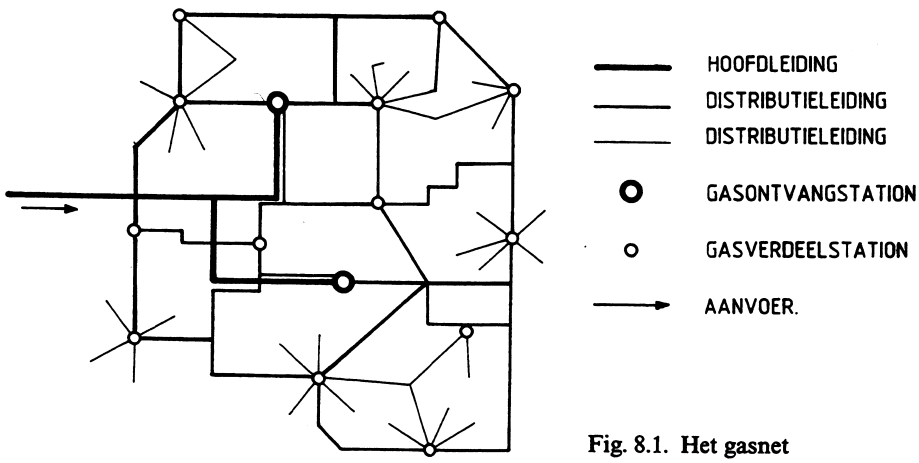


Fig. 8.1. Het gasnet

nomen. Vandaaruit wordt het gas via een middendruknet met een druk van 100 millibar of 30 millibar naar de consument gevoerd. Bij een net met een druk van 100 mbar is in de woningen een drukregelaar aangebracht. Daarmee wordt de druk verlaagd tot 30 mbar, waarmee het bruikbaar is voor de installaties. Om de gaslevering altijd te kunnen blijven verzorgen wordt zoveel mogelijk gebruik gemaakt van een ringleidingsysteem.
Het gasnet is in fig. 8.1 schematisch weergegeven.

8.2.2 Het elektriciteitsnet
Het hoofdsysteem van het Nederlandse elektriciteitstransportnet bestaat uit de koppelnetten. Dit is het systeem van verbindingen tussen elektriciteitscentrales en -stations, bestaande uit hoogspanningslijnen met de spanningsniveaus 380 kV (kilovolt), 220 kV, 150 kV en 110 kV.
Met deze koppelnetten is een systeem van ringleidingen in Nederland gemaakt, zodat bij storingen de elektriciteitsvoorziening gewaarborgd blijft. Het hoogspanningsnet verbindt de in een voorzieningsgebied gelegen onderstations. De onderstations zijn geprojecteerd in centra met een groot elektriciteitsgebruik, zoals stedelijke gebieden en industrieterreinen. In deze onderstations wordt de hoogspanning getransformeerd naar middelspanning, 3 tot 50 kV, meestal 10 kV. Elk onderstation is een voedingspunt van een voorzieningsgebied. Het middelspanningsnet is enerzijds distributienet voor de stroomlevering aan grootgebruiksinstallaties, anderzijds voedingsnet voor het laagspanningsnet. Via de transformatorhuisjes, waarin de middelspanning op laagspanning 380/220 volt wordt gebracht, zijn de laagspanningsnetten op het middelspanningsnet aangesloten. Het ondergrondse laagspanningsnet vormt een zeer dicht vertakt stelsel van kabels. Deze kabels bevinden zich in alle straten waarlangs bebouwing aanwezig is. Via het laagspanningsnet wordt de verbruiker van elektriciteit voorzien.
Het elektriciteitsnet is in fig. 8.2 schematisch weergegeven.

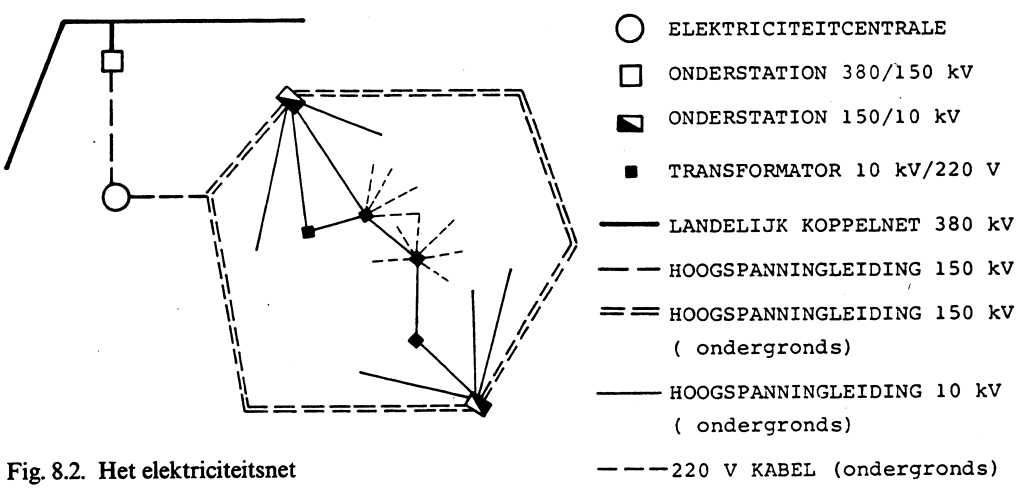


Fig. 8.2. Het elektriciteitsnet

8.2.3 Communicatiesystemen
In stedelijke gebieden groeit het stelsel van communicatiesystemen zeer snel. Het betreft telefoonkabels, de centrale antenne, data verbindingen, signaleringskabels voor verkeerslichten en gemalen.

Het telefoonnet
Het hoofdsysteem van het telefoonnet bestaat uit districtcentrales waarvan er in elk telefoondistrict één aanwezig is. De districtcentrales zijn door een stervormig net met knooppuntcentrales verbonden via interlokale draaggolfkabels. Vanuit de knooppunt-

centrales loopt een stervormig verbindingsnet van primaire kabels naar de eindcentrales. Naast de verbindingen met de draaggolfkabels heeft de PTT sinds 1962 een begin gemaakt met de aanleg van een straalverbindingsnet.
Deze straalverbindingen stellen eisen aan de ruimtelijke inrichting omdat tussen zender en ontvanger 'direct zicht' moet zijn. Het straaltraject, het zogenaamde 'straalpad' mag niet worden onderbroken door obstakels als hoge gebouwen.
Het telefoonleidingensysteem in nieuwbouwwijken is een vooraanlegsysteem. Vanuit de telefooncentrale gaan kabels naar kabelverdeelkasten. Deze kabelverdeelkasten zijn vrij klein (breed 0,78 m, diep 0,32 m en hoog 1,00 m). Afhankelijk van de woningdichtheid kunnen per kabelverdeelkast 135 tot 270 woningen worden verzorgd, hetgeen overeenkomt met een oppervlak per kabelverdeelkast van respectievelijk 3 tot 8 ha. De PTT heeft vanuit het oogpunt van kostenminimalisatie wensen ten aanzien van de plaats van de kabelverdeelkasten.
Het telefoonnet is in fig. 8.3 schematisch weergegeven.

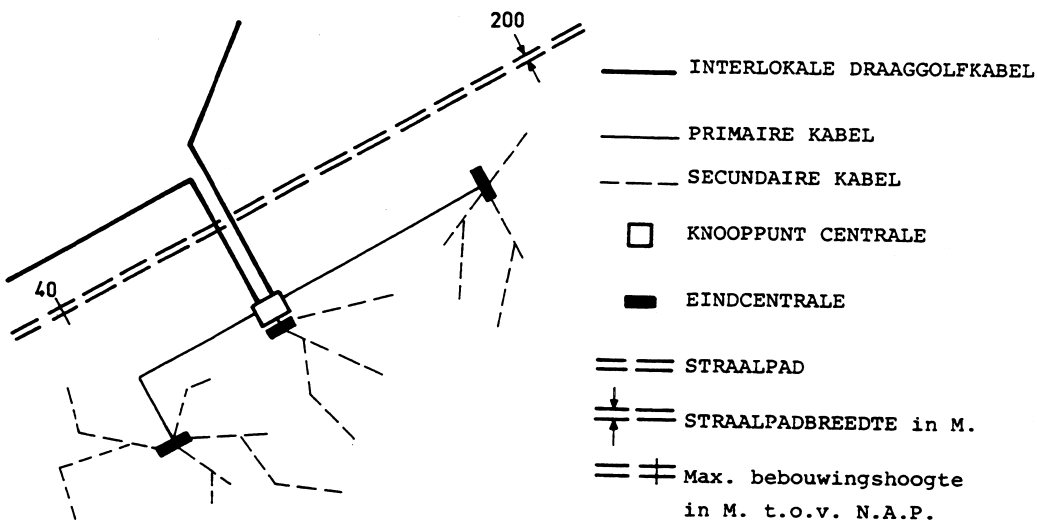


Fig. 8.3. Het telefoonnet

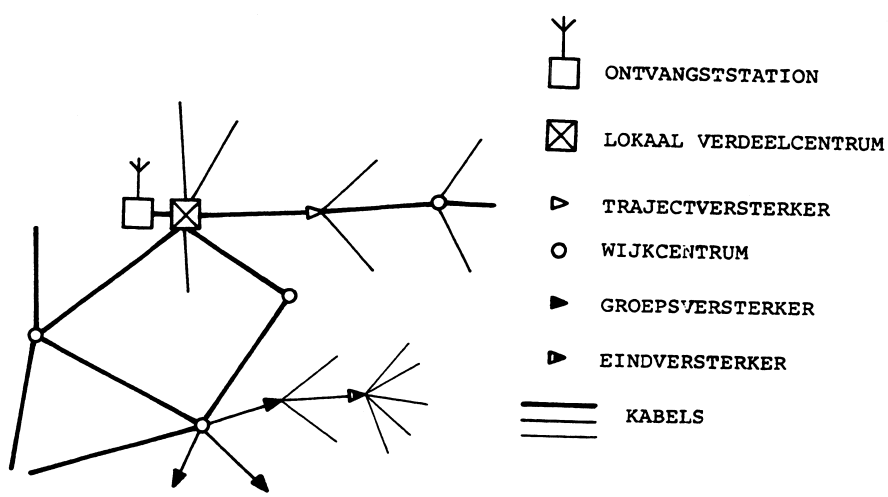


Fig. 8.4. De centrale antenne-inrichting

De centrale antenne-inrichting

De laatste jaren wordt op steeds meer plaatsen een kabeltelevisienet of centrale antenne-inrichting geïnstalleerd. De C.A.I. bestaat uit de volgende onderdelen:

- het ontvangststation;
- het lokaalverdeelnet, dat de verbinding vormt tussen ontvangststation/lokaalcentrum en wijkcentra;
- één of meer wijkcentra, van waaruit omstreeks 500–2000 woningen worden voorzien van een signaal;
- een wijknet;
- versterkers;
- verdeel- en aftakelementen en ministerpunten, waarop de abonnee-aansluitdozen zijn aangesloten.

Het C.A.I.-net wordt in fig. 8.4 schematisch weergegeven.

8.2.4 Het drinkwaternet

Het water wordt door een regionaal of gemeentelijk drinkwaterbedrijf gewonnen en gedistribueerd. Voor de produktie bestaan in Nederland in principe 3 methoden:

- winning van grondwater;
- winning van oppervlaktewater;
- infiltratie van rivierwater in de duinen, waarna grondwater wordt gewonnen.

Na zuivering wordt het water naar een reinwaterkelder getransporteerd. Vanuit de kelders loopt een distributiesysteem door de stad, zoveel mogelijk in een ringleidingsysteem. Op het waterleidingnet bevindt zich meestal om de 50 tot 80 m een aansluiting ten behoeve van de brandweer. Aan het distributiesysteem zit een watertoren gekoppeld. In de waterleidingwet is een minimale druk van tenminste 20 m boven het straatniveau aanbevolen. In Delft, bijvoorbeeld, is de druk in het distributienet 30 mwk (meter waterkolom). In landelijke gebieden wordt dit niveau lang niet altijd gehaald.
In fig. 8.5 is een drinkwaternet schematisch weergegeven.

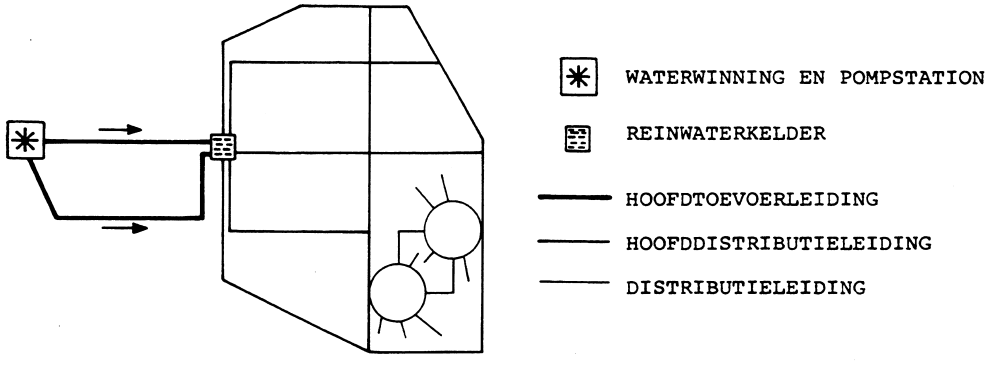


Fig. 8.5. Het drinkwaternet

8.2.5 Het stadsverwarmingsnet

Onder stadsverwarming wordt in het algemeen een verwarmingssysteem verstaan waarbij de centraal door warmte/krachtinstallaties en ketelhuizen geproduceerde warmte via een warmtedistributienet getransporteerd wordt naar woningen en gebouwen in een stad(sdeel), ten behoeve van ruimteverwarming en veelal ook van warmwatervoorzieningen. De hierbij ook geproduceerde elektriciteit wordt aan het openbare elektriciteitsnet geleverd. Het transport van de warmte bij stadsverwarmingssystemen geschiedt met behulp van een geschikte warmtedrager (warm of heet water, stoom) door een leidingennet dat bestaat uit:

- de transportleidingen,
- de distributieleidingen.

Transportleidingen verbinden de warmteproduktiecentrale met een aan de rand van het afnemersgebied gelegen ontvangststation. Vanuit dit ontvangststation wordt water met een temperatuur van ongeveer 130°C door ondergrondse geïsoleerde leidingen naar onderstations gevoerd. Dit distributienet bestaat uit een hoofd- of ringleiding. In de onderstations wordt het water van 130°C naar maximaal 90°C teruggebracht. Het water gaat, nog ongeveer 70°C warm, door een retourleiding terug naar de centrale en wordt daar opnieuw verwarmd. De onderstations leveren warmte aan één of meer groepen woningen, per groep variërend van 25 tot 100 woningen. De secundaire leidingen naar de woningen kunnen worden uitgevoerd met aftakkingen naar elke woning. De leiding kan ook langs de woningen lopen. De woningen worden dan aangesloten via dienstleidingen.

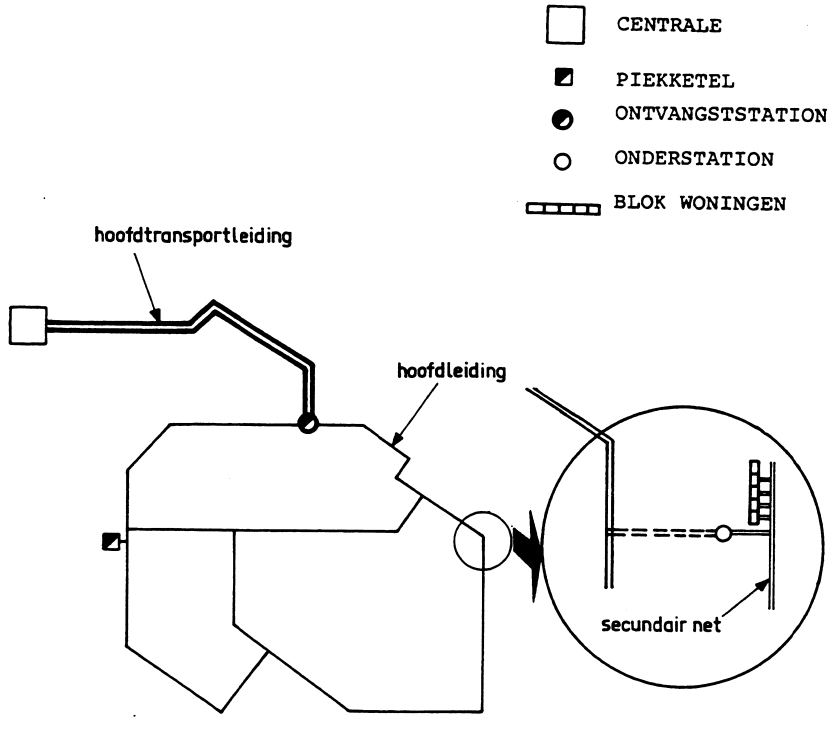


Fig. 8.6. Het stadsverwarmingsnet

Door de grote benodigde ruimte is het stadsverwarmingsnet van grote invloed op het straatprofiel en op de flexibiliteit van de ruimtelijke inrichting.
In fig. 8.6 is een stadsverwarmingsnet schematisch weergegeven.

8.2.6 Industrie-transportleidingen
Bij industrie-transportleidingen is geen sprake van specifieke stedelijke voorzieningen, er wordt daarom hier niet verder op ingegaan. Een bekend voorbeeld is de leidingstraat Pernis-Moerdijk. Eventueel zal bij de stedelijke plannen rekening moeten worden gehouden met ruimte voor een leidingstraat.

8.3 Tracering en ruimtebeslag

De leidingen moeten zoveel mogelijk in openbare grond gelegd worden. Voor de tracering en het ruimtebeslag bestaan normbladen. Normblad NEN 1738 regelt de plaats van kabels en leidingen buiten de bebouwde kom (tabel 8.1, fig. 8.7). Normblad NEN 1739 regelt de plaats van kabels en leidingen binnen de bebouwde kom (tabel 8.2, fig. 8.8). Verschillende gemeenten hanteren eigen indelingen die van deze normbladen afwijken (fig. 8.9, fig. 8.10).

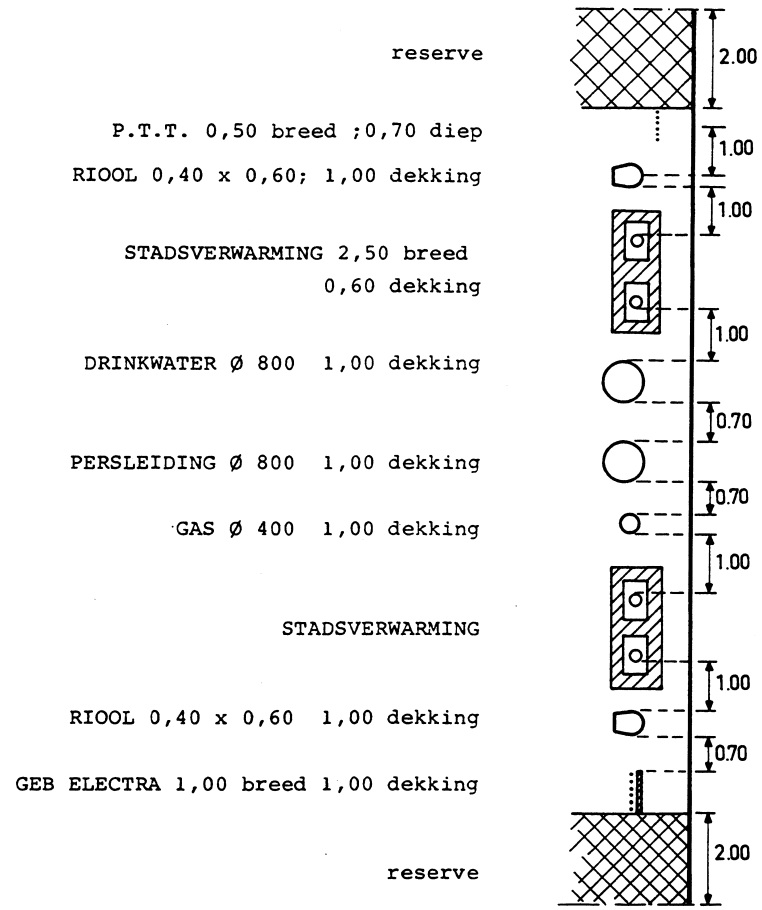


Fig. 8.9. Standaardindeling kabels en leidingen in Rotterdam, Zevenkamp

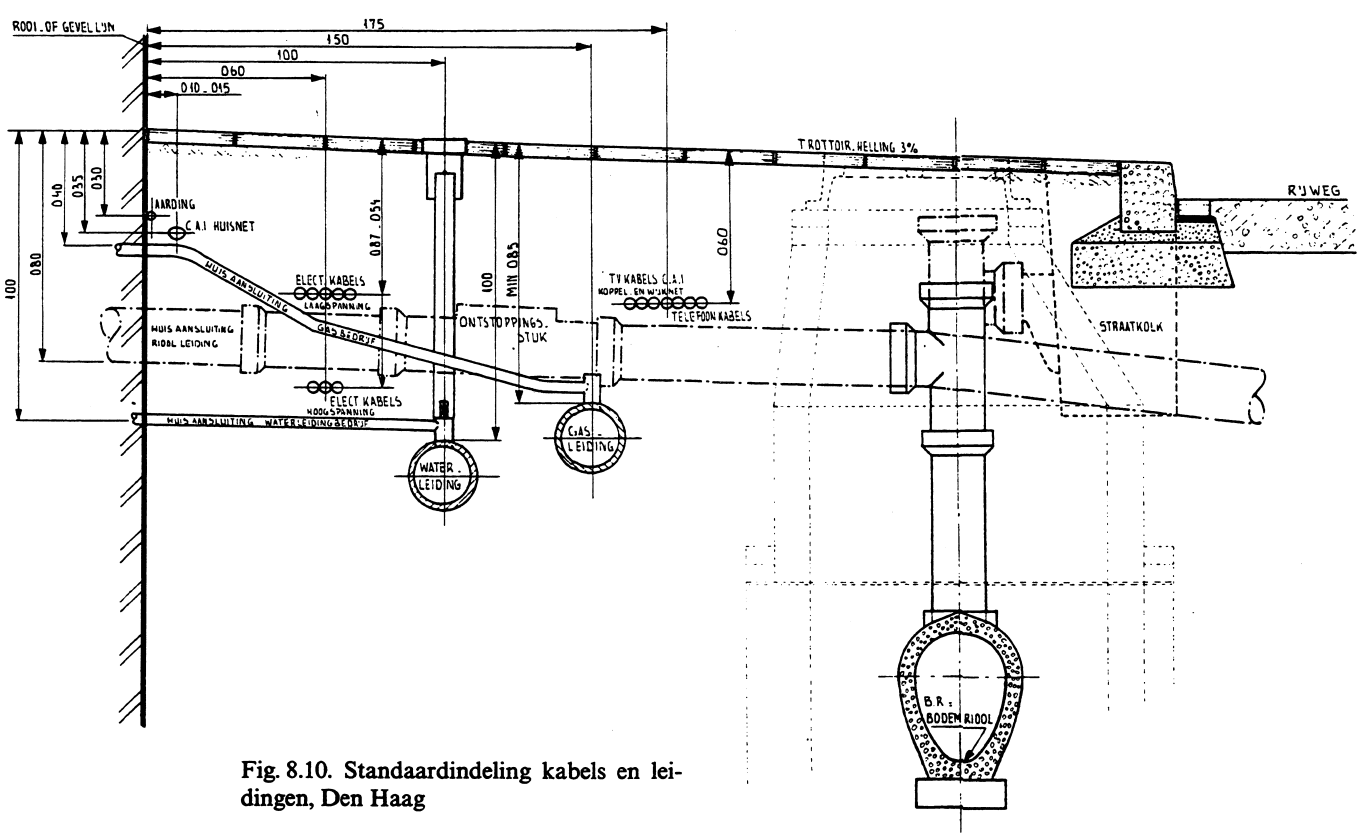


Fig. 8.10. Standaardindeling kabels en leidingen, Den Haag

Tabel 8.1. Plaats van leidingen en kabels in wegen buiten de bebouwde kom.

NED. MIJ. VOOR NIJVERHEID EN HANDEL		KON. INSTITUUT VAN INGENIEURS

NEDERLANDS NORMALISATIE-INSTITUUT

1. **Doel en toepasbaarheid**

Deze norm geeft richtlijnen voor de plaats van leidingen en kabels in wegen *buiten* de bebouwde kom.

Voor andere dan in deze norm genoemde leidingen en kabels zijn geen richtlijnen vastgesteld. Over de plaats hiervan dient men van geval tot geval te beslissen.
Indien een bedrijf over eigen telecommunicatiekabels beschikt, behoren deze in de voor dit bedrijf bestemde sleuf te worden ondergebracht.

2. **Aanduiding van leidingen en kabels**

Al naar gelang van hun aard zijn de leidingen en kabels in deze norm op tekeningen als volgt aangeduid:

E = kabels van elektriciteitsbedrijven, waarbij:
LSK = laagspanningskabel
HSK = hoogspanningskabel
G = enkelvoudige gasleiding tot een maximale nominale binnenmiddellijn van 200 mm
PTT = PTT kabels
W = enkelvoudige waterleiding tot een maximale nominale binnenmiddellijn van 300 mm

3. **Maten**

De in fig. 1 en 2 aangegeven maten moeten als wenselijke maten voor horizontale afmetingen worden beschouwd.
Indien een bredere bermstrook beschikbaar is, verdient het toch aanbeveling deze maten zoveel mogelijk aan te houden, met het oog op eventuele uitbreidingen.
Met in leidingen en kabels voorkomende voorzieningen, zoals hulpstukken e.d., is geen rekening gehouden.

4. **Mantelbuizen**

Bij de aanleg en(of) verbetering van de weg verdient het aanbeveling op daarvoor in aanmerking komende plaatsen mantelbuizen voor de doorvoer van eventuele toekomstige leidingen en kabels aan te brengen.

5. **Verharding**

Onder verharding wordt verstaan de wegverharding inclusief eventuele kantstroken.

6. **Plaats voor lichtmasten in de bermstrook**

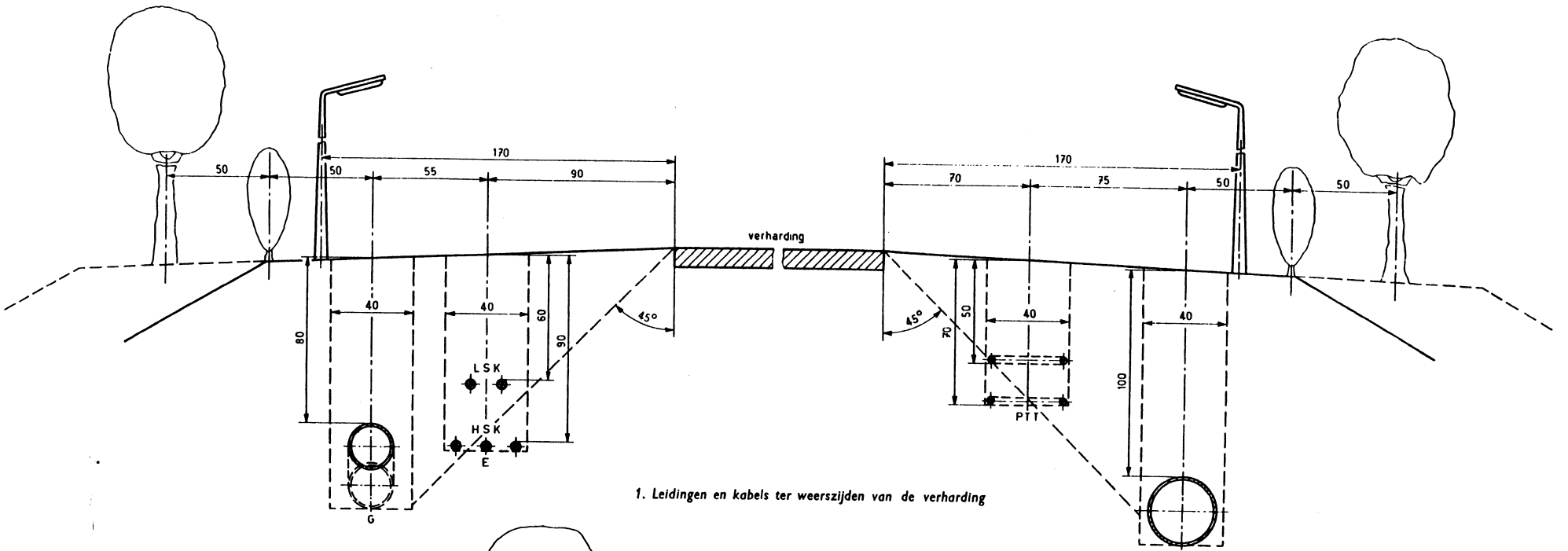
De plaats voor eventuele lichtmasten in de bermstrook is in fig. 1 en 2 schematisch aangegeven.
Indien lichtmasten worden geplaatst, behoeft de aangegeven minimumbreedte van de desbetreffende bermstrook niet te worden vermeerderd met de ruimte die voor de plaatsing van het verlangde type lichtmast en bijbehorende voedingskabel is vereist. Deze op verschillende afstanden langs de weg te plaatsen lichtmasten met betrekkelijk dunne voedingskabels zullen in de ruimte tussen de verschillende leidingsoorten of aan de buitenzijde van de bermstrook kunnen worden aangebracht.

7. **Boom- of struikbeplanting**

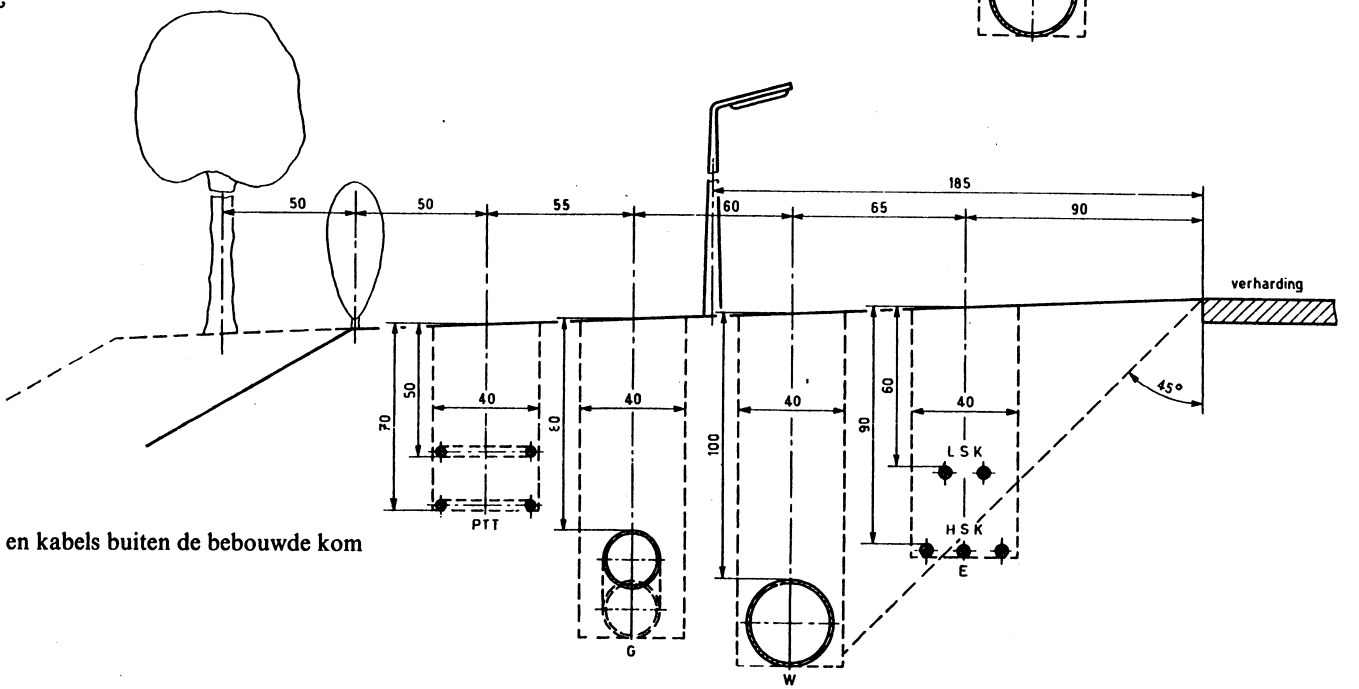
In de dwarsprofielen is de mogelijkheid voor boom- of struikbeplanting aangegeven.
Wordt een beplanting aangebracht, dan kan in het algemeen de binnenste bomenrij resp. de voorste rij struiken op 100 cm resp. 50 cm buiten het hart van de buitenste sleuf komen te staan. Dit is afhankelijk van houtsoort en(of) bodemomstandigheden.
Wordt in het dwarsprofiel volgens fig. 2 een beplanting aangelegd, dan dient in het algemeen de binnenste bomenrij op ten minste 100 cm afstand van de PTT-kabels te staan. Bij een struikbeplanting mag deze afstand tot 50 cm worden teruggebracht.

Plaats van leidingen en kabels in wegen buiten de bebouwde kom	NEN 1738
The place of pipes and cables along roads OUTSIDE built up areas	mei 1964
Auteursrechten voorbehouden	UDC: 625.78:711.522

Maten in cm



1. Leidingen en kabels ter weerszijden van de verharding



2. Alle leidingen en kabels aan één zijde van de verharding

Fig. 8.7. Plaats van leidingen en kabels buiten de bebouwde kom

Tabel 8.2. Plaats van leidingen en kabels in wegen binnen de bebouwde kom.

NED. MIJ. VOOR NIJVERHEID EN HANDEL		KON. INSTITUUT VAN INGENIEURS

NEDERLANDS NORMALISATIE-INSTITUUT

1. **Doel en toepasbaarheid**

Deze norm geeft richtlijnen voor de plaats van leidingen en kabels in wegen *binnen* de bebouwde kom.

Voor andere dan in deze norm genoemde leidingen en kabels zijn geen richtlijnen vastgesteld. Over de plaats hiervan dient men van geval tot geval te beslissen.
Indien een bedrijf over eigen telecommunicatiekabels beschikt, behoren deze in de voor dit bedrijf bestemde sleuf te worden ondergebracht.

2. **Aanduiding van leidingen en kabels**

Al naar gelang van hun aard zijn de leidingen en kabels in deze norm op tekeningen als volgt aangeduid:

E = kabels van elektriciteitsbedrijven, waarbij:
LSK = laagspanningskabel
HSK = hoogspanningskabel
G = enkelvoudige gasleiding tot een maximale nominale binnenmiddellijn van 200 mm
PTT = PTT kabels
W = enkelvoudige waterleiding tot een maximale nominale binnenmiddellijn van 300 mm
R = huisaansluiting riolering

3. **Uitvoering**

Leidingen en kabels worden bij voorkeur onder de trottoirs gelegd. Afhankelijk van de plaatselijke omstandigheden kan een keuze worden gedaan uit de uitvoering volgens de figuren A, B of C, waarbij een uitvoering volgens fig. A of B verkieselijker is dan volgens fig. C.

4. **Maten**

De in fig. A, B en C aangegeven maten moeten als wenselijke maten voor horizontale afmetingen worden beschouwd.
Indien meer ruimte in de trottoirstrook (met eventuele parkeerkommen) beschikbaar is, verdient het toch aanbeveling deze maten zoveel mogelijk aan te houden, met het oog op eventuele uitbreidingen.
Indien er minder trottoirbreedte ter beschikking is, zal
- de riolering in aanmerking komen voor verplaatsing onder de rijweg;
- verder de ruimten voor de leidingen en kabels naar verhouding verminderd worden.

Indien er leidingen voor stadsverwarming worden aangelegd, dient de ruimte van 60 cm tussen de gas- en waterleiding zodanig te worden vermeerderd, dat er plaats komt voor de stadsverwarmingsleidingen. Indien de trottoirbreedte met eventuele parkeerstroken hiervoor onvoldoende is, moeten de stadsverwarmingsleidingen onder de rijweg worden gelegd.
Met in leidingen en kabels voorkomende voorzieningen, zoals hulpstukken e.d., is geen rekening gehouden.

5. **Mantelbuizen**

Bij aanleg en(of) verbetering van de weg verdient het aanbeveling op daarvoor in aanmerking komende plaatsen mantelbuizen voor de doorvoer van eventuele toekomstige leidingen en kabels aan te brengen.

6. **Plaats voor lichtmasten in trottoirstrook**

De plaats voor eventuele lichtmasten moet worden gevonden in de voor de riolering bestemde strook en is in de figuren schematisch aangegeven.

7. **Boom- of struikbeplanting**

In de dwarsprofielen is de plaats van de boom- of struikbeplanting niet aangegeven, maar deze moet, afhankelijk van plaatselijke omstandigheden, van geval tot geval worden overwogen.

Plaats van leidingen en kabels in wegen binnen de bebouwde kom	NEN 1739
The place of pipes and cables along roads IN built up areas	mei 1964
Auteursrechten voorbehouden	UDC: 625.78:711.522

Maten in cm

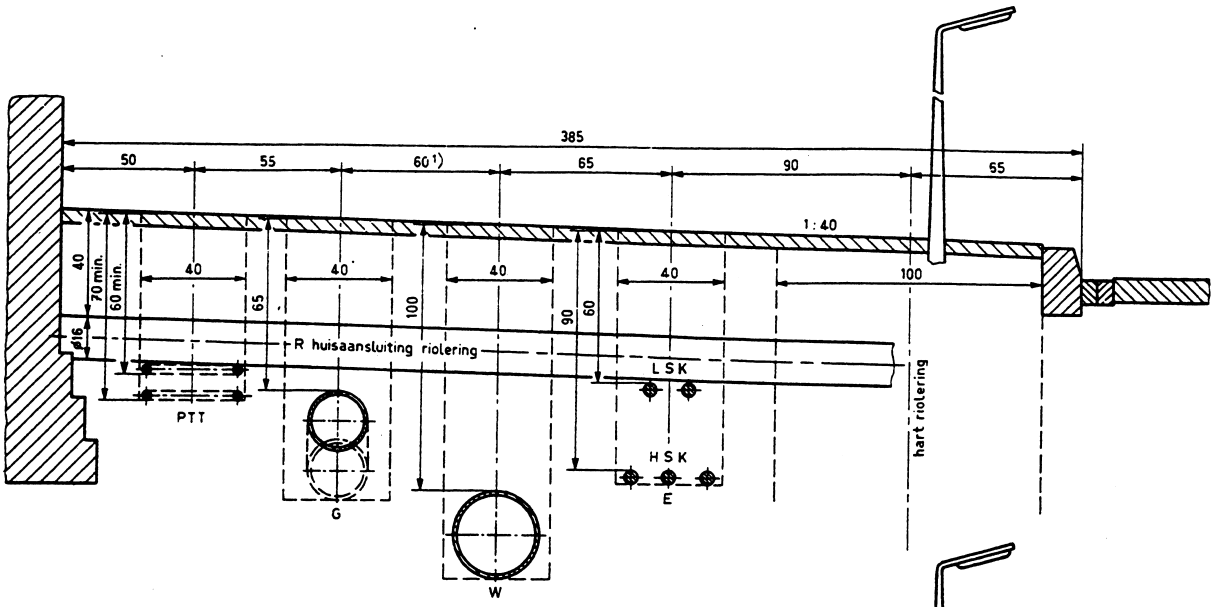


Fig. A

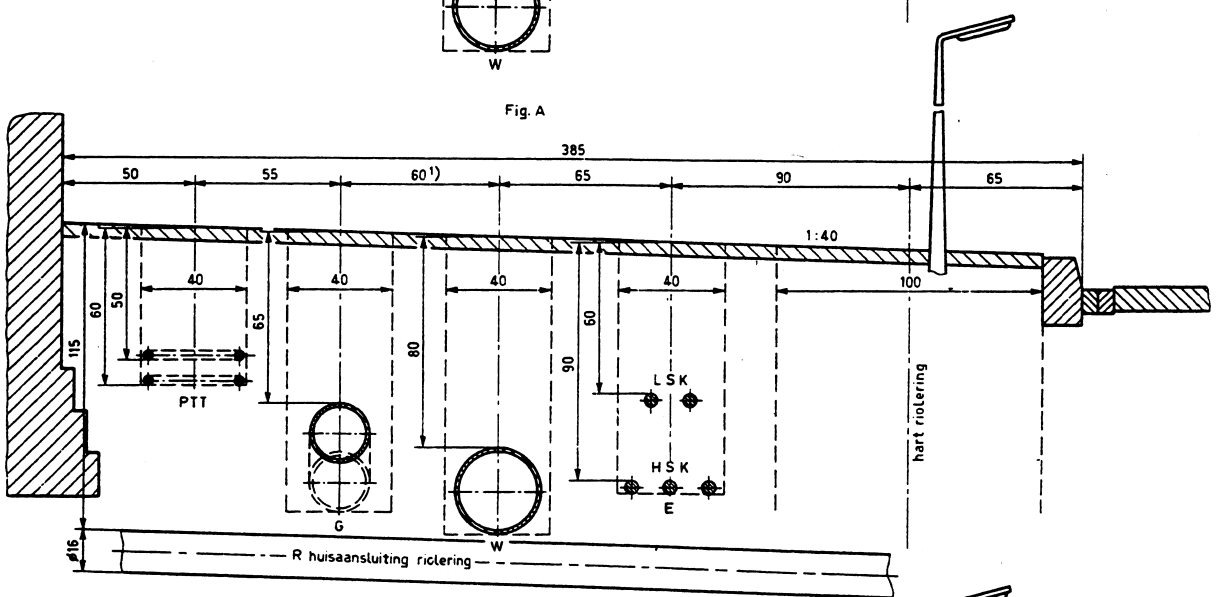


Fig. B

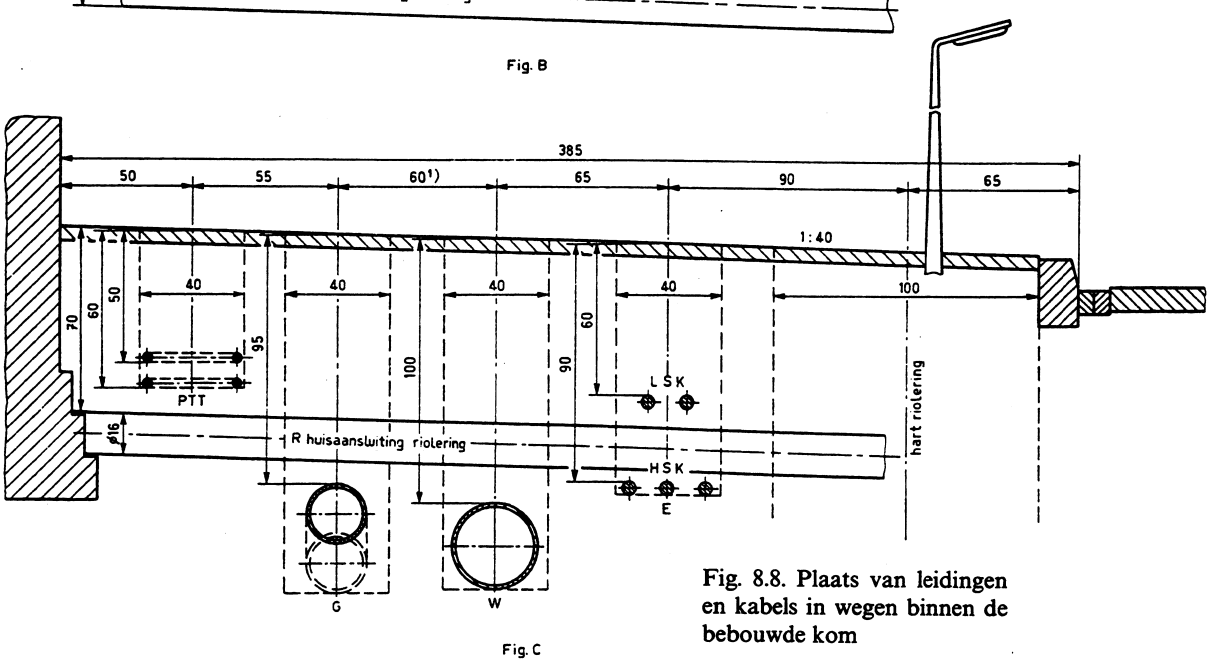


Fig. C

Fig. 8.8. Plaats van leidingen en kabels in wegen binnen de bebouwde kom

[1]) Indien er leidingen voor stadsverwarming worden aangelegd, dient de ruimte van 60 cm tussen de gas- en waterleiding zodanig te worden vermeerderd, dat er plaats komt voor de stadsverwarmingsleidingen. Indien de trottoirbreedte met eventuele parkeerstroken hiervoor onvoldoende is, moeten de stadsverwarmingsleidingen onder de rijweg worden gelegd.

Ten behoeve van het stedebouwkundig ontwerpen in de IJsselmeerpolders is bij de Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders een tekening vervaardigd waarop profielmaten voor leidingstroken in straten zijn aangegeven, samengesteld aan de hand van Normblad NEN 1739. Hierbij is rekening gehouden met minimale afstanden ten opzichte van overige onder- en bovengrondse voorzieningen en er is uitgegaan van een open straatverharding boven de leidingensleuven (tabel 8.3).

Tabel 8.3. Standaard indeling voor kabels en leidingen. Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders (profielmaten in meters) [8-2]

Leidingen in de rijweg			
Profielmaat bij – Aansluitend bebouwd (1) – Aansluitend onbebouwd (2)	Overige ondergrondse voorzieningen		
Overige bovengrondse voorzieningen	I Geen riolering	II D.W.A. of R.W.A.-riool	III D.W.A. en R.W.A.-riool
a. geen bomen, geen lichtmasten	(1) 3,00 (2) 2,50	(1) 4,05 (2) 3,55	(1) 4,95 (2) 4,45
b. lichtmasten	(1) 3,50 (2) 3,00	(1) 4,05 (2) 3,55	(1) 4,95 (2) 4,45
c. bomen of bomen en lichtmasten	(1) 4,75 (2) 4,25	(1) 5,65 (2) 5,15	(1) 6,55 (2) 6,05
Leidingen tussen de bebouwing			
Profielmaat bij – Tweezijdig aansluitend bebouwd (1) – Eenzijdig aansluitend bebouwd (2) – Tweezijdig aansluitend onbebouwd (3)			
Overige bovengrondse voorzieningen	IV Geen riolering	V D.W.A. of R.W.A.-riool	VI D.W.A. en R.W.A.-riool
d. geen bomen, geen lichtmasten	(1) 3,20 (2) 2,70 (3) 2,20	(1) 4,40 (2) 3,90 (3) 3,40	(1) 5,30 (2) 4,80 (3) 4,30
e. lichtmasten	(1) 3,40 (2) 2,90 (3) 2,40	(1) 4,40 (2) 3,90 (3) 3,40	(1) 5,30 (2) 4,80 (3) 4,30
f. bomen of bomen en lichtmasten	(1) 4,75 (2) 4,25 (3) 3,75	(1) 5,65 (2) 5,15 (3) 4,65	(1) 6,55 (2) 6,05 (3) 5,55

8.4 Kabels en leidingen in stroken, tunnels en goten

De stroken voor kabels en leidingen kunnen vaak behoorlijke afmetingen krijgen, waarmee bij het ontwerpen van het bestemmingsplan terdege rekening moet worden gehouden.
Bij de opzet van Amsterdam-Bijlmermeer zijn de kabels en leidingen aan een nadere studie onderworpen, waarbij een viertal uitgangspunten werd gehanteerd:
– een duidelijke verdeling van het kabel- en leidingenbestand naar bestemming, gebruik en capaciteit of vermogen, om het beheer te vergemakkelijken;

- een scheiding tussen kabel- en leidingenroutes en wegen voor gemotoriseerd verkeer of openbaar vervoer, om bij werkzaamheden stagnatie te voorkomen;
- een goede bereikbaarheid van kabels en leidingen ten behoeve van onderhoud en reparaties, waardoor tijd- en kostenbesparing mogelijk wordt;
- de mogelijkheid om het kabel- en leidingennet in de toekomst te kunnen uitbreiden.

Dit heeft geleid tot een aantal voorstellen, die in de Bijlmermeer gerealiseerd zijn, te weten (fig. 8.11) [8-3]:

- De doorgaande routes worden opgenomen in 30 meter brede stroken buiten de geprojecteerde woonwijken met een maaswijdte van 5.000 × 5.000 meter.
- De voedingskabels en hoofdleidingen met een wijkbedienende functie worden opgenomen in 15 meter brede stroken, geprojecteerd aan de randen van de woonwijken met een maaswijdte van 1.000 × 1.000 meter. Situering van dit systeem hangt samen met doorgaande rijwielroutes.
- De distributieleidingen en kabels ten behoeve van de huisaansluitingen worden gelegd in stroken van variabele breedte, grenzend aan de bouwblokken.

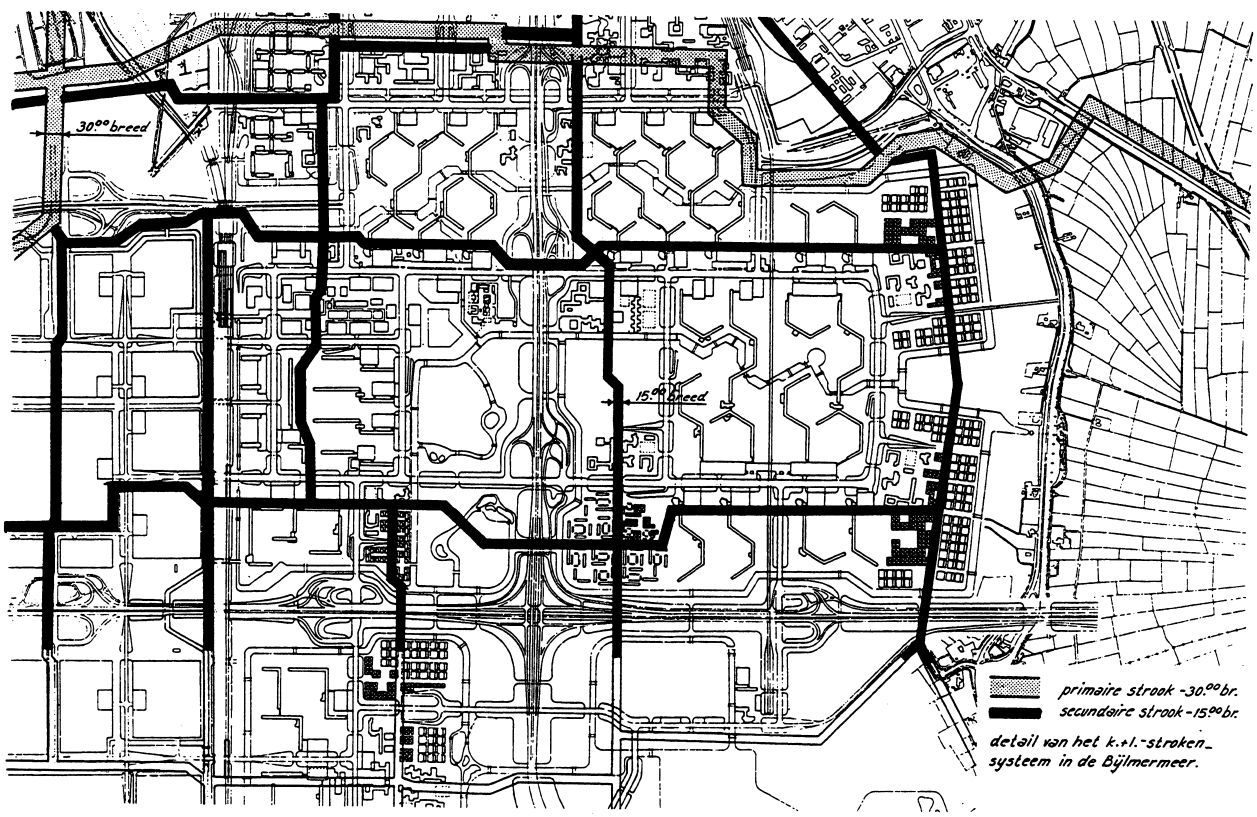


Fig. 8.11. Kabel- en leidingenstrook in Amsterdam-Bijlmermeer [8-3]

Ook in Almere is een systeem van leidingstraten ontworpen om een goede coördinatie te realiseren in het ondergrondse verkeer [8-4]. Om het kris-kras leggen van vooral aanvoerleidingen naar de kernen te voorkomen worden alle hoofdleidingen gebundeld in een leidingenstraat. Hierdoor wordt versnippering van het gebruik van de ruimte voorkomen en blijft de flexibiliteit van plannen voor bovengrondse bestemmingen groot. Het in de toekomst voortdurend verleggen van kabels en leidingen wordt vermeden. Ondanks een weloverwogen ordening blijven de consequenties van leidingenstraten groot: een nieuwe infrastructuur is ontstaan die ingepast moet worden in de ruimte.

In Almere zijn de leidingenstraten gelegd langs de stadsautowegen, mede omdat daar

ruimte nodig is in verband met het voorkómen van geluidhinder (fig. 8.12). Gekozen is voor een zandbaan in ophoging met daarop een verharde strook. Het zandpakket heeft een dikte van 1,50 meter, hetgeen voortkomt uit de vereiste gronddekking en de wens de kabels en leidingen (vrijwel) geheel in het zand te leggen.

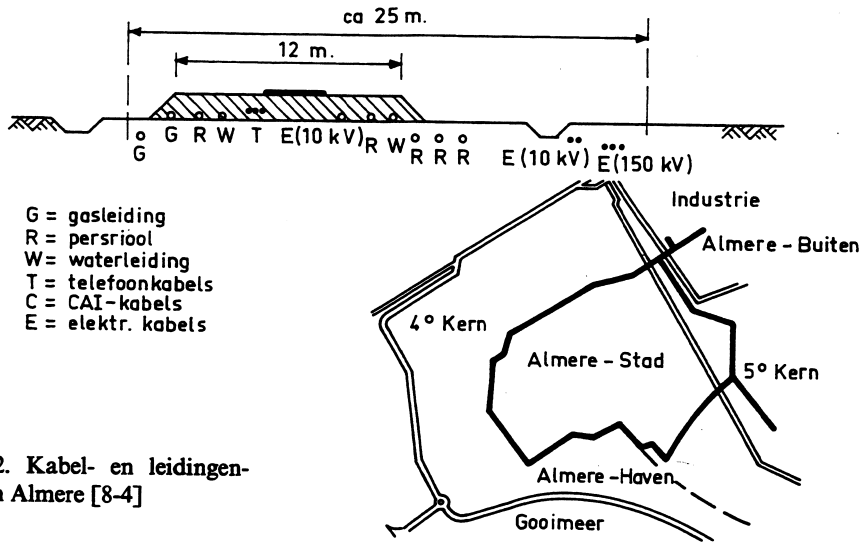


Fig. 8.12. Kabel- en leidingenstraten in Almere [8-4]

Een nog verder gaande aanpak is het gebruik van de éénsleufmethode en van tunnels of goten. Een Engels voorbeeld is een gemeenschappelijke sleuf ter breedte van ca. 1,20 m waarin alle nutsvoorzieningen, deels boven elkaar, worden ondergebracht (fig. 8.13) [8-2].
In Lelystad zijn enige proefprojecten met de éénsleufmethode uitgevoerd [8-5]. Voordelen van de éénsleufmethode zijn onderzocht:
- optimalisering van bovengronds grondgebruik in woongebieden: ruimtewinst;
- minder beschadiging van kabels en leidingen dan bij afzonderlijke aanleg;
- financieel voordeel bij aanleg.

Op grond van een eerste proef is de riolering bij verdere proeven er buiten gelaten. De telefoonkabels zijn al vanaf het begin buiten de combinatie gebleven. Vanwege de verschillen in aanlegsnelheid moet de sleuf over lengten van 200 tot 400 m^1 gedurende enige weken open blijven. Dit geeft, in combinatie met andere bouwwerkzaamheden, zoals het ontgraven van bouwputten, veel problemen. Bij een eerste proefproject is een ruimtewinst van 0,50 à 0,60 m geboekt. Bij latere proeven is om een aantal praktische redenen niet meer afgeweken van het standaardprofiel, dus verviel de ruimtewinst. Het voordeel dat blijkt is dat de controle wordt vergemakkelijkt en dat onderlinge beschadiging wordt beperkt. Financiële voordelen zijn nog niet duidelijk naar voren gekomen, maar lijken bij een goede coördinatie wel mogelijk.

In Nederland heeft de toepassing van tunnels of goten in wegen nog slechts beperkte toepassing gevonden. Wel zijn over beperkte lengte, bijvoorbeeld onder een zeer druk kruispunt, en met een beperkt aantal kabels en leidingen tunnels toegepast. Systemen zijn hiervoor beschikbaar (fig. 8.14). De kosten hieraan verbonden zijn echter zodanig dat toepassing op slechts beperkte schaal mogelijk lijkt. Een eerste inventarisatie van mogelijkheden en problemen van tunnel-toepassing is beschikbaar gekomen [8-6]. Vooralsnog lijkt toepassing de meeste mogelijkheden te hebben voor transportleidingen. Bij distributieleidingen moet erg vaak de tunnelwand doorbroken worden. Toch lijkt nader onderzoek gewenst.

LETTER	MAAT
A	900
B	600
C	450
D	150
E	350
F	750
H	300
J	150
K	100
L	200
M	250
N	150
P	250
ALLE MATEN IN MILIMETERS.	

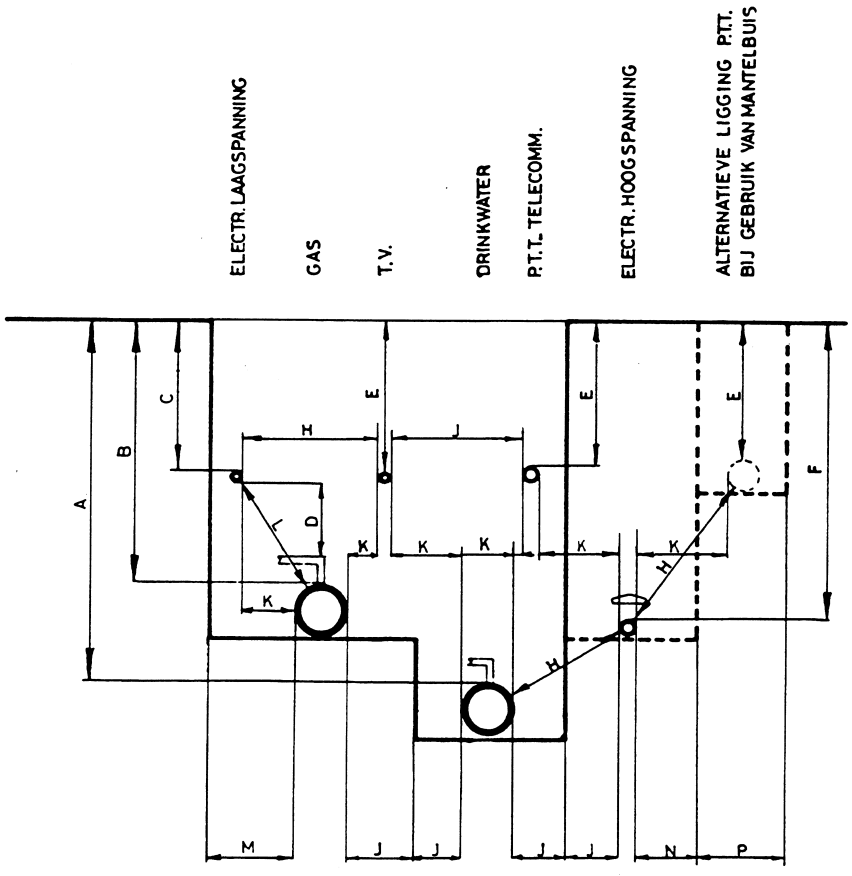


Fig. 8.13. Gemeenschappelijke sleuf voor kabels en leidingen (Ministerie van publieke werken, England)

DWARSDOORSNEDE GEMEENSCHAPPELIJKE SLEUF T.B.V. DISTRIBUTIELEIDINGEN EN _KABELS VOOR WONINGEN

VOORSTEL MIN. VAN PUBLIEKE WERKEN EN GEBOUWEN, ENGELAND.

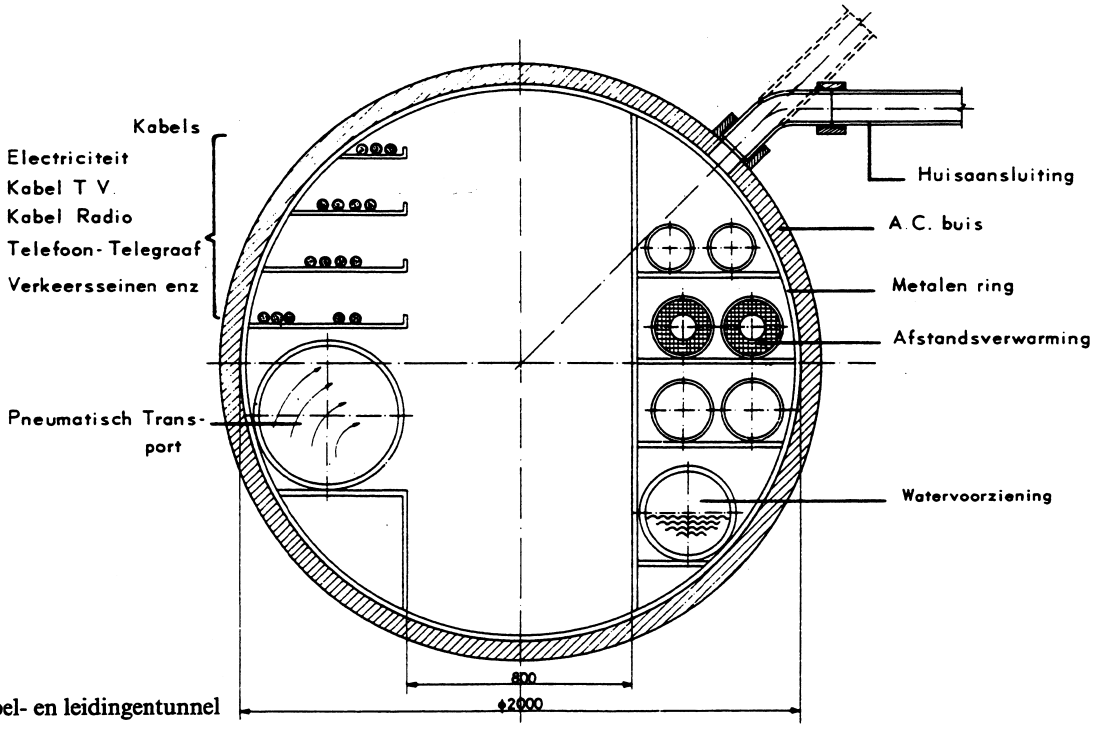


Fig. 8.14. Kabel- en leidingentunnel

Voorbeeld van een uitvoering in diameter 2000 mm.

8.5 Samenvatting

Tijdens het woonrijp maken worden uitgebreide netten van kabels en leidingen aangelegd. Elk net stelt aparte eisen aan diepteligging, fundering en afstand tot andere leidingen. Voor elk net worden deze eisen beschreven.
Tenslotte wordt ingegaan op de nieuwste ontwikkelingen met leidingenstraten, leidingenbuizen en leidingentunnels.

9 Grondkosten en grondprijzen

9.1 Inleiding

Eén van de diensten die de Nederlandse overheid uitvoert is het bouwrijp maken van terreinen. Het is een dienstverlening die in principe geheel betaald dient te worden door de afnemers.
Grond heeft een bijzonder karakter: het is in ruwe staat niet of nauwelijks vermeerderbaar, het is niet te verplaatsen en alle menselijke activiteiten impliceren een of andere vorm van grondgebruik. Ieder heeft er iets van nodig om te wonen, te werken, te verkeren en te recreëren. Grond is betrekkelijk schaars. Hoewel er in Nederland genoeg grond aanwezig is waaruit bouwrijpe grond kan worden geproduceerd, doen zich regionaal en plaatselijk toch schaarste-problemen voor. Wat de gevolgen hiervan zijn voor de prijsvorming van grond wordt bestudeerd door de economie [9-1].

De behandeling van kosten in het kader van bouwrijp maken van terreinen is om verschillende redenen van belang.
In het Besluit Ruimtelijke Ordening 1976 staat dat 'bij de voorbereiding van een ontwerp voor een bestemmingsplan het (...) onderzoek betrekking (heeft) op de uitvoerbaarheid van het plan voorzover het bestemmingen betreft, die in de naaste toekomst zullen worden gerealiseerd'. In de Nota van Toelichting wordt met nadruk gewezen op de noodzaak om de financiële uitvoerbaarheid te toetsen.
Naast het toetsen van de financiële uitvoerbaarheid van plannen die in de naaste toekomst gerealiseerd worden is het ook gewenst om in eerdere fasen van de planvorming de financiële consequenties van plannen te onderzoeken. Zo'n onderzoek resulteert in een globale kostenanalyse of kosten-batenanalyse, bijvoorbeeld bij de locatiekeuze en bij een globaal bestemmingsplan. Het gedetailleerde onderzoek naar de financieel-economische haalbaarheid resulteert in een grond-exploitatierekening. De functies van een exploitatierekening zijn ondermeer:
- kostenbeheersing, dat wil zeggen raming en bewaking van kosten en opbrengsten, alsmede beoordeling van de doelmatigheid van het plan in economische zin;
- bepaling van de grondprijzen voor de verkoop van kavels;
- bepaling van het eventueel benodigde bedrag aan locatiesubsidie en andere subsidies;
- grondslag voor het goedkeuren van gemeentebegrotingswijzigingen voor kapitaalsuitgaven in verband met het bouwrijp maken.

Een gebruikelijke volgorde van werken was, en is nog steeds, dat het stedebouwkundig team, eventueel werkend met de uitkomsten van een technisch vooronderzoek, het ruimtelijk ontwerp maakt. Daarna wordt het ontwerp op de financieel-economische haalbaarheid doorgerekend. Als het plan niet haalbaar blijkt dan wordt geprobeerd door middel van verdichten en versoberen te komen tot wél aanvaardbare kavelprijzen. Dergelijke bezuinigingsronden kunnen evenwel aanleiding zijn tot een onevenwichtige aantasting van de plankwaliteit. Er is dan meestal geen tijd en geld beschikbaar om een andere, bij het noodzakelijke lagere kostenniveau betere, planopzet uit te werken. Het onderzoek naar de financieel-economische uitvoerbaarheid moet dan ook bestaan uit

een begeleiding van het ontwerpproces vanaf het allereerste begin. Zeker met automatisering van de grondkostenberekening wordt dit steeds beter mogelijk.

De financieel-economische uitvoerbaarheid van een plan wordt getoetst door het Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer (VROM). Dit gebeurt formeel door de Inspecteur van de Volkshuisvesting in het kader van het wettelijk vooroverleg. Er wordt echter steeds meer in een vroeger stadium van de planontwikkeling overlegd en de toetsing wordt dan veelal gedaan door medewerkers van de Directie Volkshuisvesting in de Provincie (DV) en van het Directoraat-Generaal van de Volkshuisvesting van het ministerie (DGVH). Daarnaast vindt er ook een toetsing door de provincie plaats in het kader van het toezicht op de gemeentelijke financiële handelingen. Een goedgekeurde exploitatie-opzet vormt één van de elementen voor de beoordeling door de provincie van door de gemeente aangevraagde kredieten voor het bouwrijp maken.
Bij de beoordeling van een exploitatie-opzet door de DV of het DGVH zijn de toetsingscriteria [9-2]:
- Het grond- en ruimtegebruik van het plan. Door middel van maatstaven wordt het grondgebruik in het plan beoordeeld.
- De kostencomponenten en de gehanteerde eenheidsprijzen.
- De verdeling van de kosten over de kostendragers. Hoe duur worden de diverse woningbouw- en de niet-woningbouwkavels.
- De toegepaste methode van renteberekening en de wijze waarop rekening is gehouden met kosten- en opbrengstenstijging in de toekomst.

9.2 De begrippen grondkosten en grondprijzen

In het rapport Grondkosten Bestemmingsplannen is door het Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, na overleg met de Vereniging van Nederlandse Gemeenten, als uitgangspunt vastgesteld dat een exploitatierekening van een bestemmingsplan sluitend moet zijn [9-3]. Het basisprincipe van de grondprijsberekening is dan eenvoudig: de gemiddelde kostprijs per m^2 verkoopbaar terrein wordt bepaald door de totale kosten te delen door het totale oppervlakte verkoopbaar terrein. De aldus bepaalde gemiddelde m^2-kostprijs wordt vervolgens met een correctiefactor vermenigvuldigd om de m^2-vraagprijs te bepalen. De correctiefactoren zijn afhankelijk van de aard van de kostendragers, zoals winkels, bedrijven, scholen, woningwetwoningen, vrije sectorwoningen, enz. Sommige kostendragers betalen een hogere, sommige een lagere prijs dan de gemiddelde prijs. In plaats van de gemiddelde m^2-kostprijs met correctiefactoren wordt, zeker voor winkels en dergelijke, ook wel de marktwaarde van de grond toegerekend.

De volgende onderwerpen zijn nu van belang:
- de totale kosten die ten laste van het plan komen;
- de wijze waarop de renteverliezen en -winsten worden verrekend;
- het grondgebruik van het plan;
- de kostendragers en de daarbij gehanteerde correctiefactoren of de marktwaarde;
- mogelijke subsidies.

De totale kosten worden gevormd door een aantal kostencomponenten:
- de verwervingskosten, de kosten voor de aankoop van de benodigde gronden inclusief de bijkomende kosten;
- de kosten voor bouw- en woonrijp maken, het geschikt maken van de grond voor stedelijk gebruik;
- de kosten van planontwikkeling en voorbereiding en het toezicht bij uitvoering;

- de omslagkosten, werken ten behoeve van het plan, die gemaakt worden buiten het plan;
- rentekosten.

De kostencomponenten worden in par. 9.3 uitvoeriger besproken.
Sinds 1968 zijn de berekeningen, waarbij de totale kosten welke ten laste van het plan komen en de verdeling van de kosten over de kostendragers bepaald worden, gestandaardiseerd. In een tweetal rapporten, Grondkosten Woningbouw (het z.g. bruine boekje) [9-4] en Grondkosten Bestemmingsplan (het z.g. blauwe boekje) [9-3] hebben de Vereniging van Nederlandse Gemeenten en het Ministerie van Volkshuisvesting en Ruimtelijke Ordening een voorstel voor een uniforme behandeling uitgewerkt. Naast de bepaling van de toedeling van de kostenelementen zijn in het 'bruine boekje' ook maatstaven voor de beoordeling van het grondgebruik gegeven en regels voor het ramen van renteverliezen. Deze renteverliezen ontstaan als gevolg van verschillen in tijdstippen van uitgaven en inkomsten. De in 1968 gegeven globale regels voor renteberekening bleken niet steeds aan te sluiten bij de fasering in de uitvoering van bestemmingsplannen. Mede daarom is in 1978 een proefperiode gestart met de zogenaamde eindwaardeberekening, bij plannen die in aanmerking komen voor locatiesubsidie [9-5]. Bij de eindwaardemethode worden de rentekosten berekend met een bij het plan behorend gefaseerd kosten- en opbrengstenoverzicht. Rentewinsten en -verliezen en kosten- en opbrengstenstijgingen worden door middel van een samengestelde interest berekend. In twee evaluaties zijn de voorlopige bevindingen van de eindwaardemethoden weergegeven [9-6, 9-7].
De in het 'bruine boekje' aangegeven maatstaven voor het grondgebruik zijn in de loop der tijd niet meer hanteerbaar gebleken. Onder andere het rapport van de Werkgroep Ruimtebeslag [9-8] geeft de resultaten van recent onderzoek naar ruimtegebruik. De grondgebruikgegevens worden behandeld in par. 9.4.
De verdeling van de kosten over de kostendragers en de methoden van renteberekening worden behandeld in par. 9.5.
De opbrengsten van een plan vallen in twee groepen uiteen: het totaal van de grondprijzen bij de gronduitgifte en subsidies. Ook dit onderwerp wordt uitgewerkt in par. 9.5.

9.3 Kostencomponenten

9.3.1 Checklist grondkosten

De volgende lijst van kostencomponenten is een samenvatting van de Checklist Grondkosten, zoals deze ontwikkeld is door de Stuurgroèp Grondkosten [9-9].

1. Verwervingskosten

directe kosten	(grondaankopen, opstallen, gewassen, vergoedingen voor bedrijfsverplaatsingen, onteigeningskosten, enz.)
bijkomende kosten	(belastingen, onderhoud, administratie)
opbrengsten	(tijdelijke verpachting, verkoop gewassen, verhuur opstallen)

Kosten van bouw- en woonrijp maken

2. Opruimen en sloopwerken

slopen, opbreken, opslaan en afvoeren van:
opstallen
afrasteringen
begroeiingen
verhardingen
rioleringen
kunstwerken
diversen

3. *Grondwerken*
   voorbereidende werkzaamheden (grasmat bewerken, bovengrond bewerken, sloten en waterpartijen uitbaggeren en dempen, terrein egaliseren, perskaden aanbrengen, verticale drainage aanbrengen)
   ophogingen
   ontgravingen
   aanvullingen
   terreindrainage bouwfase
   waterspiegelverlaging (tijdelijk, bemaling)

4. *Drainage (definitief)*
   terreindrainage
   cunetdrainage
   diepdrainage
   bouwblokdrainage
   open drainage
   drainwaterafvoerleidingen

5. *Verhardingen*
   onverharde wegen
   niet-bitumineus gebonden steenverharding
   gestrate verharding, elementen-verharding
   bitumineuze verharding
   cement-betonverharding
   bijzondere verharding
   opsluitingen van verharding

6. *Rioleringswerken*
   fundatie
   hulpconstructies
   buizen
   putten
   kolken
   diversen

7. *Groen- en recreatieve voorzieningen*
   grondbewerking
   grondverbetering
   inrichting
   plantmateriaal
   overige voorzieningen
   inboeten
   recreatieve voorzieningen

8. *Lichtmasten, brandkranen, wegbebakening*

9. *Kunstwerken*
   waterhuishouding (stuwen, dammen, gemalen, duikers, keerwanden, beschoeiingen, talud- en bodembekleding, aanlegsteigers)
   wegen (bruggen, tunnels, viaducten)
   riolering (gemalen, persleidingen)

10. *Planontwikkelingskosten*
Al de kosten die gemaakt zijn bij het tot stand komen van een rechtsgeldig bestemmingsplan. Werkzaamheden kunnen worden uitgevoerd door interne- of externe adviseurs.

11. *Voorbereiding en toezicht planuitvoering*
Al de kosten die gemaakt worden om vanaf een juridisch plan te komen tot een gerealiseerd plan. Het gaat hierbij om het plan in engere zin, namelijk alleen de technische werken en de aanleg van groenvoorzieningen.

12. *Fonds 'stadsuitleg' of omslagkosten*
Fondsvorming vindt plaats om kosten te dekken die in algemene zin samenhangen met de uitbreidingen of met reconstructiewerken in de gemeente. Het gaat hierbij vooral om doeleinden die omschreven kunnen worden in bovenwijkse kosten. Het betreft volgens 'grondkosten bestemmingsplannen' [9-3]:
- bijzondere elementen binnen de plangrens,
- bijzondere elementen buiten de plangrens,
- kosten ten gevolge van bijzondere omstandigheden.

Een structuurplan is een goed kader om deze kostenpost vast te stellen.

13. *Renteberekening*
- Methode volgens het 'bruine boekje'; een vuistregelmethode waarbij aan de hand van gekozen termijnen met een enkelvoudige renteberekening het renteverlies wordt vastgesteld.
- Methode volgens de eindwaardeberekening: aan de hand van gegevens over de fasering van verwerving, uitvoering van werken en uitgifte van bouwgrond wordt via een samengestelde renteberekening de rente vastgesteld en worden te verwachten kosten- en opbrengstenstijgingen meegerekend.
- De 'gefaseerde-bruine-boekje-methode': de berekening vindt hierbij ook plaats aan de hand van een fasering van inkomsten en uitgaven, doch alleen rentekosten worden meegerekend.

14. *Risico en onvoorzien*
Het grote aantal factoren dat de onzekerheid bij de exploitatierekening bepaalt, leidt tot de wens om reserves voor risico en onvoorzien op te nemen. Dit wordt echter niet geaccepteerd door de toetsende overheid. Het inbouwen van risicoreservering ligt wel voor de hand in de vroege fasen van het planvormingsproces, zoals bij structuurplannen. Door de exploitatierekening regelmatig te herzien wordt in de loop van de planontwikkeling het kosten- en prijzenverloop steeds preciezer. Bij het niet toestaan van een post risico en onvoorzien moet de toetsende overheid wel onvoorziene zaken bij de herziening van een exploitatie-opzet accepteren.

15. *Onderhoud*
Onderhoudskosten mogen niet in de exploitatierekening worden opgenomen. Wel is veelal opgenomen de post herstraten, ophalen van kolken en dergelijke, binnen een bepaalde tijd na de aanleg. De hoogte van de onderhoudskosten staan in nauw verband met de technische kwaliteit van het uitgevoerde werk en dus met de investeringen. Het antwoord op de vraag in hoeverre de onderhoudskosten ten laste van de exploitatie mogen komen is voortdurend een discussiepunt. Het kan zijn dat men streeft naar een (te) hoge technische kwaliteit en dus naar te hoge grondkosten. Anderzijds kan het zijn dat men kosten verschuift naar het later onderhoud door de grondkosten laag te houden (par. 9.7).

In par. 9.3.2 worden de kostencomponenten nogmaals besproken met indicaties ten aanzien van de kosten. De behandelde kosten zijn niet meer dan een indicatie, onder andere om de orde van grootte en het relatieve belang duidelijk te maken.

9.3.2 Verwerven van grond

Voordat de grond in de vorm van bebouwbare kavels uitgegeven wordt moet deze een aantal bewerkingen ondergaan. Met betrekking tot de organisatie van dit proces bestaan verschillende doelstellingen die globaal te onderscheiden zijn in actieve grondpolitiek en passieve grondpolitiek. Men spreekt van *actieve grondpolitiek* indien de gemeente ten aanzien van de uitbreiding niet een afwachtende houding aanneemt, doch deze uitbreiding zelf in de hand houdt door tijdig de gronden in eigendom te verwerven, deze gronden bouwrijp te maken of te laten maken en de bouwrijp gemaakte gronden uitgeeft, hetzij in eigendom, hetzij in erfpacht.

Argumenten voor verwerving in een vroeg stadium zijn altijd geweest:

- Het waarborgen van de continuïteit van de werkzaamheden.
- Het minimaliseren van de kosten van het verwerven. Hoe duidelijker het plan vorm begint te krijgen, des te sterker zal de verwachtingswaarde naar voren komen en de kosten doen stijgen.

Daar tegenover staat de *passieve grondpolitiek* indien de gemeente ten aanzien van de uitbreidingen een meer afwachtende houding aanneemt. De gemeente beperkt zich er toe door stedebouwkundige maatregelen (bestemmingsplan) de bestemming van de gronden vast te leggen en laat dan de exploitatie van de gronden aan particulieren over en wacht af wanneer dezen dat doen.

Argumenten voor passieve grondpolitiek (en nadeel van actieve grondpolitiek):

- Het minimaliseren van het renteverlies. Hoe korter de tijd is tussen verwerven en uitgifte des te geringer zal het renteverlies zijn.

In de zeventiger jaren bleek een actieve grondpolitiek economisch gezien aantrekkelijk. De verwervingskosten en het renteverlies bij vroegtijdig aankopen was in het algemeen een lager bedrag dan de verwervingskosten op een later tijdstip. In het begin van de tachtiger jaren is dit veranderd. Het te betalen rentepercentage voor de financiering van de verwerving gaat sterk uit boven het inflatiepercentage. Daarnaast is er met het inzakken van de onroerendgoedmarkt, zowel voor de woningbouw als voor de ruwe bouwgrond, nauwelijks sprake van prijsstijging. In het rapport 'Het bestemmingsplan in de jaren '80' wordt gepleit voor een voorzichtig verwervingsbeleid, maar wel planmatig en gebaseerd op het gemeentelijk structuurplan [9-10]. Verwervingsaspecten hebben de laatste jaren uitvoerig aandacht verkregen. De Graaf stelt dat dit in het licht van de directe relatie burger-overheid begrijpelijk is. Echter, bij uitbreidingsplannen lijken de overige kosten door deze aandacht onderbelicht, gezien het feit dat verwervingskosten ongeveer 10% tot 30% van de totale kosten uitmaken. In stadsvernieuwingsprojecten is de invloed van de verwervingskosten groter [9-11]. De kosten van de te verwerven grond hangen sterk af van de ligging en de aanwezige bedrijfsgebouwen. In de periode 1965–1977 vond een enorme prijsstijging plaats voor agrarische gronden van *f* 2,– per m^2 tot *f* 6,– per m^2. Als gevolg van de huidige economische situatie is het prijsniveau weer gedaald tot *f* 3,50 à *f* 4,– per m^2 [9-15]. Bij het grondkostenclassificatiesysteem wordt bij verwerving voor stadsuitbreidingen een toeslag van *f* 1,– per m^2 en 25% gerekend. Voor de opstallen moet gerekend worden met sterk variërende prijzen. In 1977 bedroeg de prijs voor opstallen gemiddeld *f* 15,– à *f* 20,– per m^2. Bij 40 woningen per hectare varieert de post verwerving zo van *f* 1500,– tot *f* 6000,– per woning. In kasgebieden zal dit veel hoger zijn.

9.3.3 Kosten bouw- en woonrijp maken

Achtereenvolgens zullen de kosten voor grondwerk en waterhuishouding, verharding, riolering, fundering, de groenvoorzieningen en verlichting worden besproken. Het is van belang te beseffen dat het hier om globale cijfers gaat, die sterk tijdgebonden zijn. De kosten zijn zoveel mogelijk uitgedrukt in guldens per hectare, waardoor het relatieve belang beter te vergelijken is. Alle bedragen zijn exclusief directiekosten.

Grondwerk en waterhuishouding

Deze kostenpost is sterk afhankelijk van de vraag of al of niet integraal met zand moet worden opgehoogd (hoofdstuk 4). Ook de woningdichtheid is van invloed. In fig. 9.1 zijn de kosten voor grond- en zandverzet per hectare woongebied weergegeven voor een aantal methoden van bouwrijp maken. De bedragen zijn inclusief het graven van de grachten, doch exclusief de oeverafwerking. De oeverafwerking kost ongeveer *f* 75,– à *f* 100,– per strekkende meter per oever. Fig. 9.2 en 9.3 geven de kosten van grond- en zandverzet uitgezet ten opzichte van de bodemgesteldheid. Voor stadsvernieuwingsprojecten is onmogelijk een indicatie te geven. De kosten per m^3 grond- en zandverzet zullen daar relatief hoog zijn.

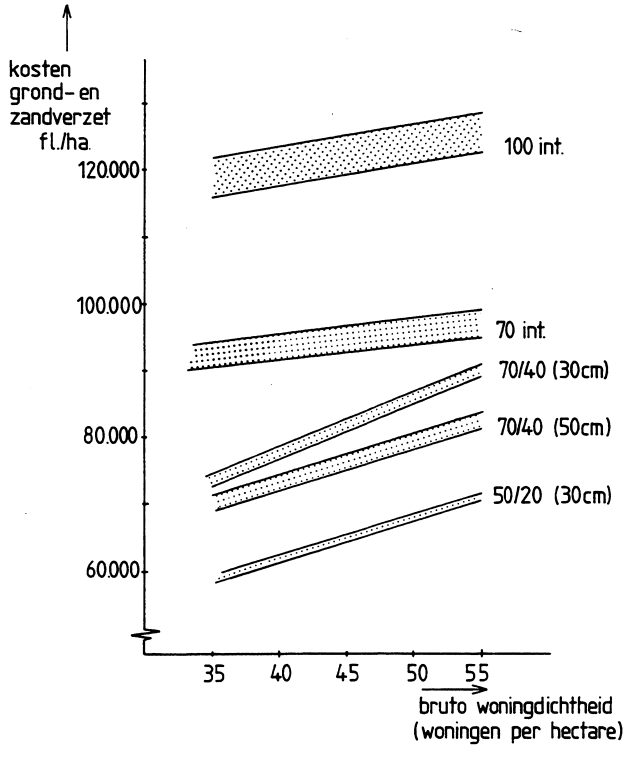


Fig. 9.1. Kosten van grond- en zandverzet voor stadsuitbreiding. Integraal ophogen door opspuiten, cunettenmethode per as. In guldens per hectare (prijspeil 1982) [9-12]

Drainage

De kosten van de drainage zijn afhankelijk van de keuze van het drainagesysteem, van de wijze van grondwerk, van de grachtafstand en van de woningdichtheid. Er wordt hier van uitgegaan dat het wenselijke systeem bestaat uit bouwdrainage én bouwblokdrainage (hoofdstuk 5). De kosten van de drainage variëren dan, bij een integrale ophoging van 1,00 m, van *f* 14.000,– tot *f* 18.000,– per hectare bij variatie van de woningdichtheid van 30 tot 45 woningen per hectare netto woongebied. Bij een minimale integrale ophoging van 0,70 m zijn de kosten van de drainage vergelijkbaar

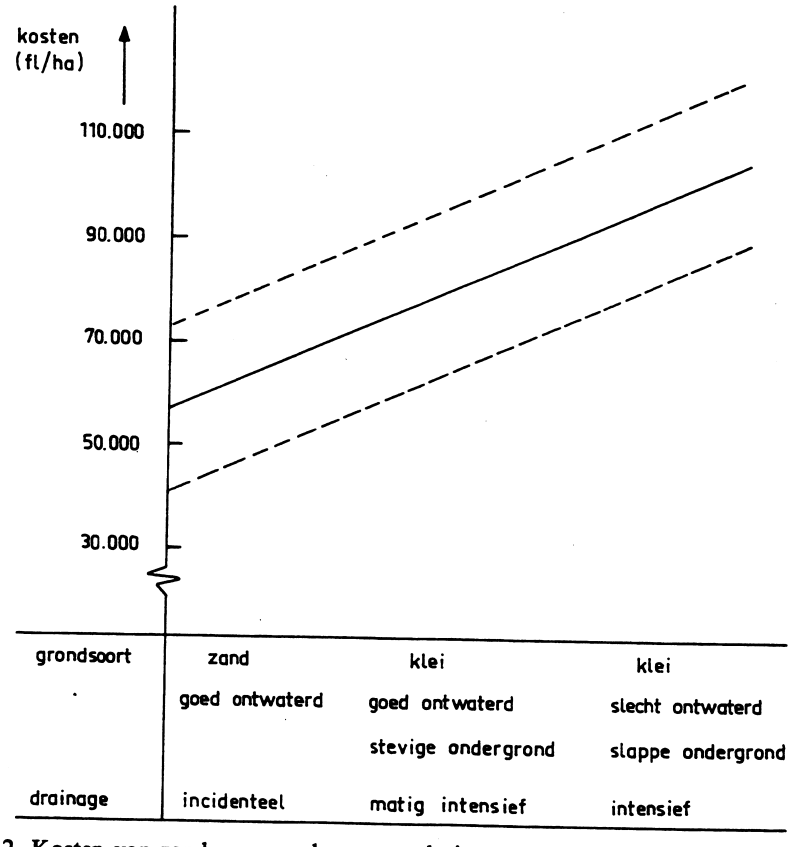


Fig. 9.2. Kosten van zand- en grondverzet en drainage voor stadsuitbreidingen. Cunnetten-methode. In guldens per hectare (prijspeil 1982)

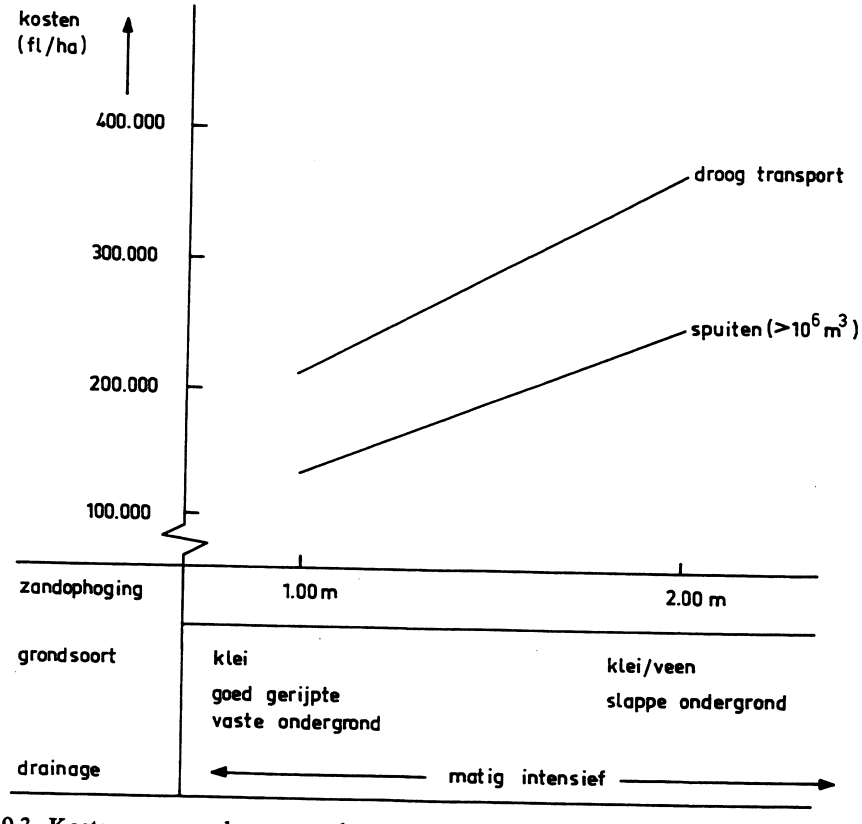


Fig. 9.3. Kosten van zand- en grondverzet en drainage voor stadsuitbreidingen. Integraal ophogen. In guldens per hectare (prijspeil 1982)

met die bij de cunettenmethode. Bij de cunettenmethode zijn de kosten van de bouwdrainage en de cunet- en ringdrainage ongeveer *f* 25.000,– per hectare.
In stadsvernieuwingsgebieden en bij het aanbrengen van drainage bij bestaande nieuwbouw kunnen de kosten hoog oplopen; nieuwbouw- en stadsvernieuwingsprojecten zijn bekend met drainagekosten van *f* 1000,– tot *f* 5000,– per woning.

Verhardingen
Indien het grondwerk goed is uitgevoerd dan zijn de kosten van de verharding onafhankelijk van het terrein. Uitgaande van de eenheidsprijzen als vermeld in tabel 9.1 en de grondgebruiksgegevens van tabel 9.10 (inclusief buurtontsluiting) zijn de kosten per hectare woongebied *f* 150.000,– à *f* 200.000,– per hectare.
Bij stadsvernieuwingsprojecten zijn de kosten van de diverse soorten verharding in principe niet anders dan bij stadsuitbreidingen. Echter, bij dergelijke projecten moet de bestaande verharding, en eventueel ook de bestaande riolering, worden gesloopt en afgevoerd of slechts worden verbeterd en moeten aanwezige kabels en leidingen (tijdelijke) worden omgelegd. Het is niet eenvoudig hiervoor globale kostenindicaties te geven. Uit een uitvoerige analyse van een beperkt aantal plannen volgt de conclusie dat per woning de kosten van de verharding in stadsvernieuwingsprojecten ongeveer 45% bedragen van de kosten in groeikernen [9-38]. Bij de groeikernen is dan ook de nieuw aan te leggen hoofdinfrastructuur meegerekend.

Tabel 9.1. Kosten van diverse soorten verhardingen in guldens per m^2 (prijspeil 1982)

Wijkontsluiting	asfalt (1)	100–110
Buurtontsluiting	asfalt (1)	100
	klinkers (1) (2)	90
Woonstraten	asfalt (1)	100
	klinkers (3)	60
Parkeerplaatsen	klinkers (3)	45– 50
Trottoirs, fietspaden	betontegels (3)	45
	asfalt (3)	50
	klinkers (3)	50

(1) Exclusief riolering, markering, bewegwijzering, verlichting, oversteekplaatsen, enz.; exclusief onderhoud na 1e aanleg; inclusief funderingslaag.
(2) Inclusief bouwweg: 6 cm grind-asfaltbeton op slakkenlaag, exclusief herstraten na oplevering; herstraten klinkers *f* 25,–/m^2.
(3) Inclusief bouwstraat (40% van oppervlak). (Alternatief voor bouwstraat is bedrag per woning aan aannemer voor schottenbanen). Exclusief aankleding als boomkransen, straatmeubilair, enz.

Riolering
De kosten van een rioolstelsel zijn van een aantal variabelen afhankelijk. In de loop van de jaren zijn in publikaties meermalen de kosten van verschillende rioolstelsels beschreven [9-13, 9-14, 9-15, 9-16]. Niet altijd is te achterhalen wat de keuzen van de variabelen zijn en welke elementen van het stelsel wel en welke niet zijn meegenomen; de kosten per eenheid van element verschillen vaak aanzienlijk. In tabel 9.2 is, op basis van gegevens in [9-16], de relatie tussen woningdichtheid en kosten van rioolstelsels weergegeven.
Dit zijn de basiskosten, dat wil zeggen kosten die onafhankelijk van de bodem zijn. Daarnaast zijn er excessieve kosten, welke terreinafhankelijk zijn en die voortvloeien uit te nemen maatregelen bij aanleg in slechte grondslag. Mogelijk extra maatregelen met de daarbij behorende kosten staan aangegeven in tabel 9.3.
Ook voor de riolering is het niet goed mogelijk globale kostenindicaties te geven voor stadsvernieuwingsprojecten.

Tabel 9.2. Kostenrelatie woningdichtheid – rioolstelsel (prijspeil 1982); (naar [9-16])

dichtheid won./ha	gescheiden stelsel					gemengd stelsel	
	lengte wijkriool		lengte hoofd-riool	kosten riool	kosten water-huis-houding	3% open water o.f. 7***	kosten water-huis-houding
	r.w.a. m¹/won.	d.w.a. m¹/won.	m¹/won.	gld/won.*	gld/won.**	gld/won.*	gld/won.
15	13	12,5	1,3	5.400,–	8.390,–	2.800,–	6.945,–
20	10,8	9,5	1,0	4.440,–	6.880,–	2.595,–	6.055,–
25	9,1	7,5	0,8	3.790,–	5.870,–	2.375,–	5.320,–
30	7,6	6,3	0,7	3.330,–	5.140,–	2.195,–	4.765,–
35	6,5	5,6	0,6	3.020,–	4.690,–	2.045,–	4.405,–
40	5,6	5,3	0,5	2.810,–	4.360,–	1.850,–	4.050,–
45	4,9	5,3	0,5	2.690,–	4.140,–	1.780,–	3.830,–

* inclusief huisaansluitingen, bemaling en transport: niet onderheid
** inclusief kosten riool, r.w.z.i., drainage en open water
*** overstortfrequentie 7 maal per jaar

Tabel 9.3. Noodzakelijke maatregelen bij aanleg van riolering afhankelijk van bodemtype en zanddiepte en de daarbij behorende kosten in guldens per hectare (40 won./ha netto woongebied; prijspeil 1981) [9-15]

Bodemtype	Maatregel			
	funderen op palen	stempelen sleuf	aanvullen sleuf	bronnering
1. Zand	nee	nee	nee	ja
2. Klei op stevige ondergrond	nee	nee	nee	ja, indien zanddiepte < 5 m
3. Klei met ondiep slappe ondergrond	ja, indien zanddiepte < 10 m	ja	ja, indien er gefundeerd wordt op palen	ja, indien zanddiepte < 5 m
Veen met zandondergrond tussen 0,80 en 1,20 m	nee	nee	ja	ja
4. Veen met slappe ondergrond	ja, indien zanddiepte < 10 m	ja	ja, indien er gefundeerd wordt op palen	ja, indien zanddiepte < 5 m
rioolstelsel	gemengd	gescheiden	verbeterd gemengd	verbeterd gescheiden
basiskosten*	80.000,–	110.000,–	100.000,–	120.000,–
maximale excessieve kosten				
– fundering	60.000,–	60.000,–	10.000,–	60.000,–
– stempelen	12.000,–	20.000,–	6.000,–	20.000,–
– aanvullen sleuf	50.000,–	65.000,–	40.000,–	70.000,–
– bronnering	19.000,–	10.000,–	10.000,–	12.000,–

* exclusief bemaling en transport

Fundering van woningen

De funderingskosten variëren sterk met de uitgangssituatie (par. 9.6). Fig. 9.4 geeft een indicatie van het kostenverloop, gebaseerd op een aantal aannamen [9-17].
Funderingskosten worden overigens niet opgenomen in de grondkostenexploitatie (par. 9.7).

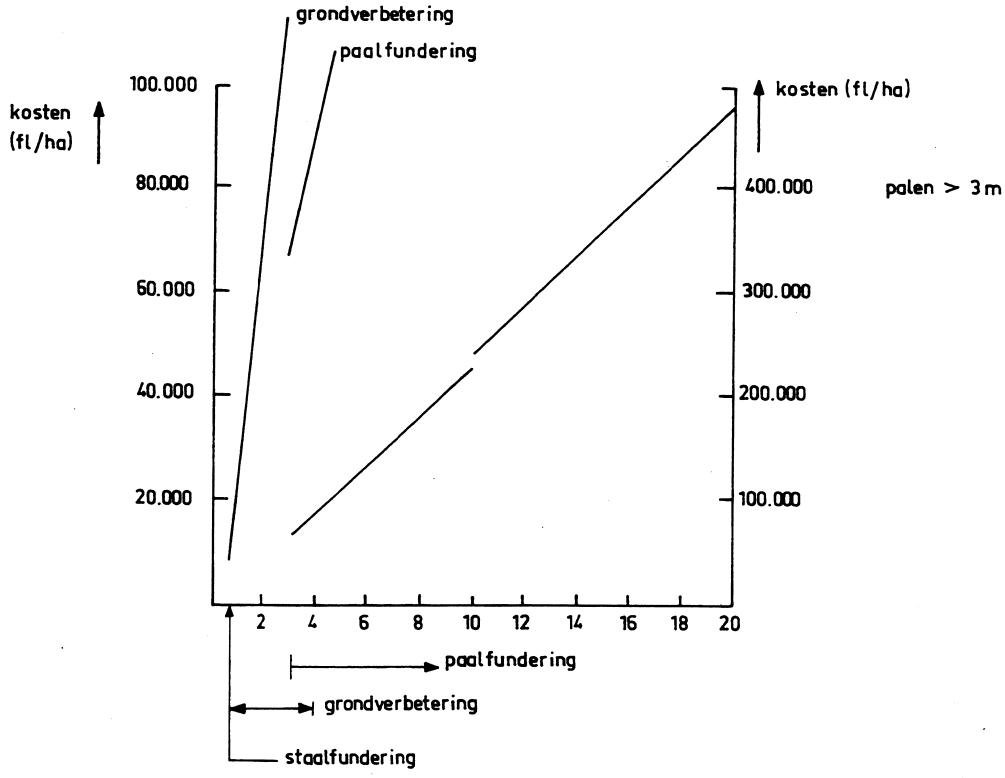


Fig. 9.4. Kostenverloop van de fundering van woningen in guldens per hectare. De kosten aan de grondverbetering en het begin van lijn van de paalfundering worden links afgelezen, de lijn van de paalfundering rechts. (40 woningen per hectare netto woongebied, prijspeil 1981) [9-17]

Groenvoorzieningen

De kosten van het aanbrengen van een grondverbetering voor groen zitten reeds verwerkt in de kostengrafiek voor grondwerk (fig. 9.1). In hoofdstuk 4 is reeds aandacht besteed aan de invloed van het grondgebruik op het grondwerk en de grondverbetering; in par. 9.4 wordt ingegaan op de kostenconsequenties daarvan.
De kosten van de aanleg van de groenvoorzieningen zelf zijn in tabel 9.4 aangegeven. Globaal bedragen dan de groenkosten *f* 40.000,– per hectare (prijspeil 1981).

Tabel 9.4. Eenheidsprijzen in guldens per m^2 van groenvoorzieningen (beplantingsmateriaal, prijspeil 1981)

Blokgroen (inclusief 1 boom per 100 m^2)	15,–
Straatbomen in verharding	350,– à 400,–
Buurtgroen	12,–
Wijkgroen	12,–
Speel- en ligweide	8,–
Speelplaats (inclusief inrichting) (1)	20.000,–

(1) per speelplaats

Kosten micromilieuvoorzieningen

Deze kostenpost omvat voorzieningen als banken, zandbakken, speeltoestellen, enz. en bedraagt globaal *f* 300,– per woning.

Verlichting, brandkranen en wegbebakening

Deze kostenpost bedraagt globaal *f* 20.000,– per hectare bruto woongebied (prijspeil 1982).

Kostentoeslagen

Gerekend kan worden met de volgende posten:

- Onvoorzien; zoals eerder aangegeven wordt deze post in grondexploitaties niet geaccepteerd. In de fase van haalbaarheidsstudies of modellenstudies moet gerekend worden met 5 à 10% onvoorzien.
- Planontwikkeling, voorbereiding en toezicht; deze post kan bestaan uit bijvoorbeeld:
  1. Algemene kostentoeslag om niet direct aan een plan toe te rekenen activiteiten van gemeentewerken (deels) te dekken.
  2. Kosten van het grondbedrijf of externe adviseurs in de grondexploitatie.
  3. Planvoorbereidingskosten van gemeentewerken en externe adviseurs.
  4. Kosten uitvoeringsbegeleiding door gemeentewerken en externe adviseurs.

  Door de toetsende overheid worden de PVT-kosten geaccepteerd zoals aangegeven in tabel 9.5.

Tabel 9.5. Kosten planontwikkeling, voorbereiding en toezicht (prijspeil 1.1.83) [9-18]

	locatiesubsidie plannen	I.S.R. plannen	overige plannen
percentage van kosten bouwrijp maken, exclusief integraal ophogen	22	22	19
en voor plannen waarvan de eerste grondkostenvaststelling 1982 of later betreft per woning			
met een minimum van	*f* 2.300,–	–	–
en een maximum van	*f* 3.450,–	–	*f* 2.950,–
percentage van de kosten integraal ophogen	4	–	4

- BTW; de berekening van de omzetbelasting (BTW) voor bestemmingsplannen en reconstructieplannen is zeer ingewikkeld geworden [9-19, 9-20, 9-21]. Voor bouwterreinen (uitgeefbaar terrein) kan de gemeente de op die grond drukkende omzetbelasting in aftrek brengen voor zover die grond met heffing van omzetbelasting aan derden wordt geleverd. Voor gemeenschapsvoorzieningen, zoals wegen, riolering en plantsoenen, komt de gemeente slechts ten dele voor aftrek in aanmerking. Dit betekent dat bij stads- en dorpsvernieuwingsprojecten gerekend moet worden met een kostenpost BTW van 2 tot 10% over de totale kosten van het plan. Bij stads- en dorpsuitbreidingen is er een kostenpost BTW van 0 tot 4% van de totale kosten van het plan.

Overzicht van de kosten

In tabel 9.6 zijn de voorgaande bedragen samengevat. Het geeft niet meer dan een indicatie van de grondkosten waar het bij woningbouwprojecten in stadsuitbreidingen om gaat. Voor stadsvernieuwingsprojecten is het nog moeilijker een indicatie te geven van de totale kosten (tabel 9.7).

Tabel 9.6. Kostenoverzicht woongebied in stadsuitbreidingen in guldens per hectare (prijspeil 1982)

Planontwikkeling, voorbereiding, toezicht	60.000,–		200.000,–
Verwerving	60.000,–		250.000,–
Opruimen, sloop		10.000,–	
Grondwerk en waterhuishouding	50.000,–		250.000,–
Verharding	150.000,–		225.000,–
Riolering	100.000,–		200.000,–
Groen	40.000,–		50.000,–
Omslagkosten		p.m.	
Funderingskosten woningbouw	10.000,–		400.000,–

Tabel 9.7. Kostenoverzicht woongebied in stadsuitbreiding en stadsvernieuwing in guldens per woning; (gebaseerd op een analyse van 5 stadsvernieuwingsprojecten en 2 groeikernen) prijspeil 1979) [9-38]

	stadsvernieuwing	stadsuitbreiding
Planontwikkeling, voorbereiding, toezicht	7.250,–	4.900,–
Verwerving	13.225,–	2.400,–
Sloop	2.500,–	5,–
Grondwerk	170,–	2.900,–
Verharding	5.100,–	5.865,–
Groen	900,–	3.865,–
Riolering	2.000,–	4.050,–
Bijzondere openbare werken, cq. omslag	5.850,–	6.800,–
Netto BTW	2.030,–	115,–
Rente	5.400,–	p.m.
Onvoorzien, risico, afrondingen	1.425,–	100,–
Totaal	45.850,–	31.000,–

9.4 Grondgebruiksgegevens en verkavelingen

Het ruimtegebruik heeft grote invloed op de kosten. Het is echter niet eenvoudig vast te stellen wanneer een plan wel of niet een economisch ruimtegebruik heeft. Globaal gezien wordt het ruimtegebruik verdeeld in:

1. Uitgeefbaar terrein.
2. Verharding.
3. Groen.

Het uitgeefbaar terrein is de kostendrager. De verhouding tussen uitgeefbaar terrein en openbaar gebied bepaalt daarmee in belangrijke mate de financiële haalbaarheid van het plan. Ook zijn de kosten per eenheid van oppervlakte per ruimtegebruikscategorie sterk verschillend. Dit is de reden dat er diverse onderzoeken naar ruimtegebruik hebben plaatsgevonden [9-4, 9-5, 9-12, 9-13].
Het voldoen aan de diverse ontwikkelde grondgebruiknormen behoeft niet direct het meest economische plan op te leveren. Voortdurend moet het ruimtegebruik getoetst worden aan de doelstellingen, de normen en de financiële haalbaarheid. Het nastreven van kostenbeheersing door normering van onderdelen alleen lijkt onaantrekkelijk, omdat zo betere en gedifferentieerdere oplossingen kunnen worden uitgesloten. De beste werkwijze lijkt een gefundeerde keuze uit proefverkavelingen op basis van alle relevante gegevens, hetgeen vraagt om kosteninzicht naast normen. Kosteninzicht met verkavelingen en woningen maakt een plan vergelijkbaar op de totale kosten en dus op de invloed op de huur. Een uitwisselingsmogelijkheid tussen bouw- en grondkosten is wenselijk om tot een echte keuze te komen [9-22] (par. 9.7).

In tabel 9.8 zijn enige gegevens met betrekking tot grondgebruik in recente bestemmingsplannen en grondkostenstudies weergegeven [9-12]. Kostenconsequenties van variaties in grondgebruik zijn weergegeven in fig. 9.5 en 9.6. In fig. 9.5 is de relatie weergegeven tussen kosten en de bruto woningdichtheid voor een aantal methoden van bouwrijp maken. In de figuur is de absolute waarde van de bedragen niet het belangrijkste, maar de verhoudingen en het verloop. Per methode van bouwrijp maken staan twee lijnen weergegeven. De bovenste lijn geeft de duurste vorm van grondgebruik, de onderste lijn de goedkoopste vorm van grondgebruik. Deze twee vormen van grondgebruik zijn de extremen wat betreft de kosten zoals deze berekend zijn voor 16 vormen van grondgebruik per woningdichtheid. Deze grondgebruiksmodellen zijn geconstrueerd met behulp van een analyse van het grondgebruik in 10 recent gereed gekomen woonbuurten en een aantal grondgebruikstudies (zie ook tabel 9.8 [9-12]). De goed-

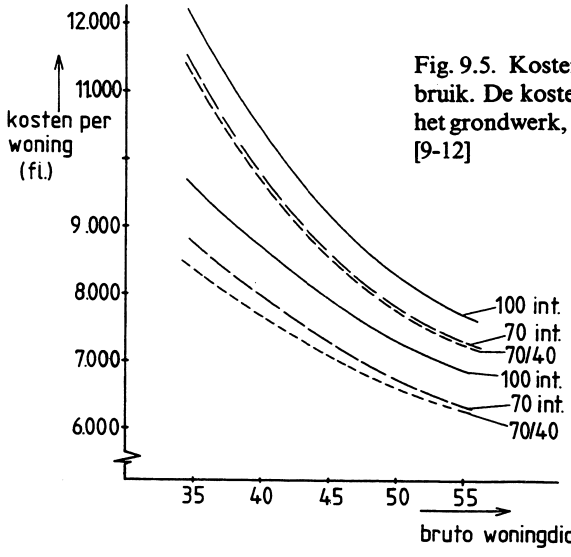


Fig. 9.5. Kostenconsequenties bij variatie in grondgebruik. De kosten zijn samengesteld uit de kosten van het grondwerk, de verharding, het groen en de riolering [9-12]

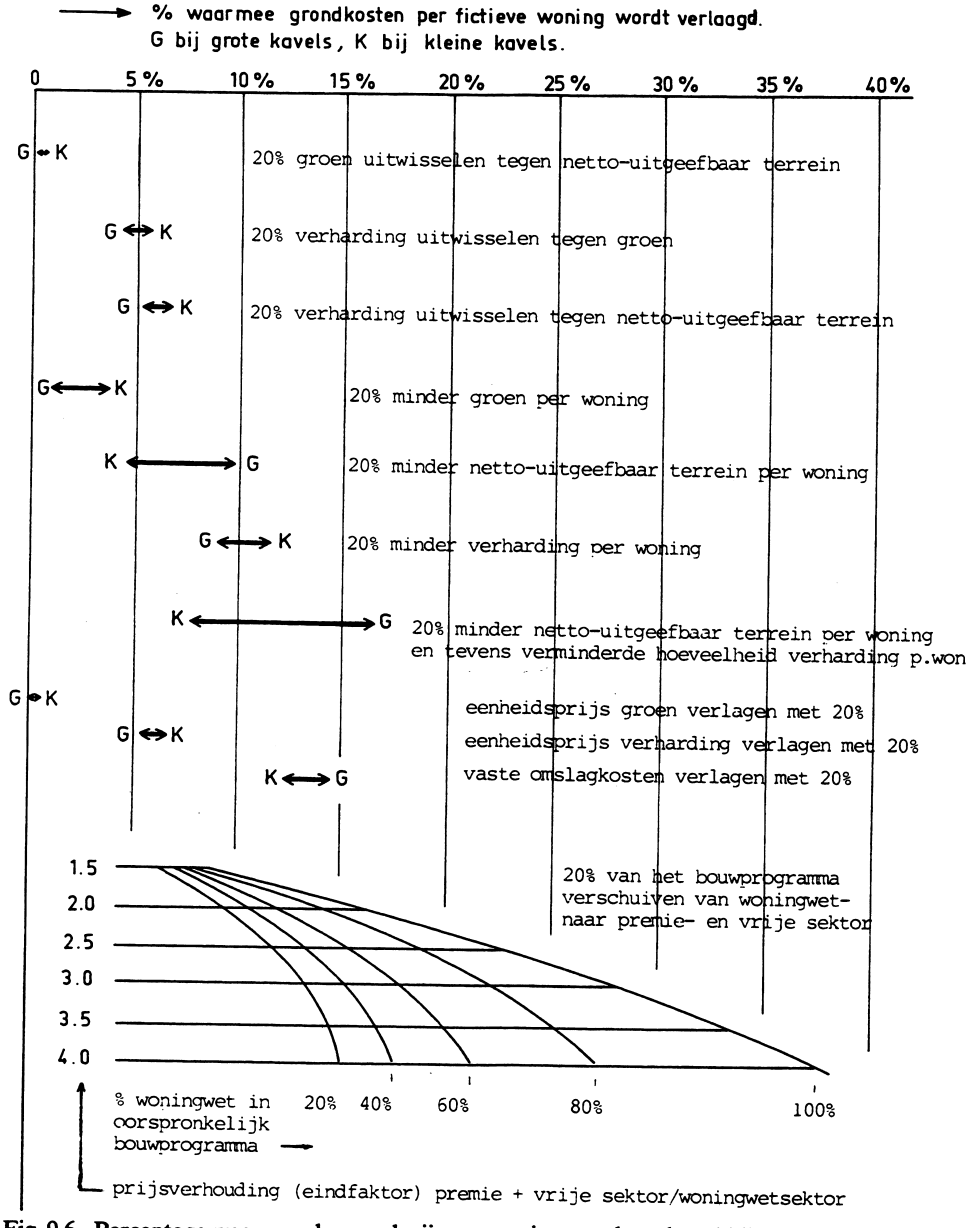


Fig. 9.6. Percentage waarmee de grondprijs per woning wordt verlaagd bij bepaalde maatregelen. G is % bij grote kavels, K is % bij kleine kavels. Vooronderstellingen vermeld in bron [9-5]

Tabel 9.8. Grondgebruik in m^2 per woning in enige recente bestemmingsplannen en grondkostenstudies

	1	2	3	4	5	6	7	8
Netto woongebied								
gemiddelde kavels	150	160	136,3	128	103	97,5	80,3	82
verharding:								
– parkeren	16	20	11,9	20	20	9,4	14,9	20
– woningontsluiting	42	30	49,7	24	20	30,1	42,4	18
– langzaamverkeersroute	12	3	–	3	3	–	–	3
	70	53	61,6	47	43	39,5	57,3	41
blokgroen (1000 m^2)	30	10	2,7	10	10	9,4	4,4	10
netto woongebied	250	233	200,6	185	156	146,4	142,0	133
netto dichtheid (won./ha)	40	45	49,9	54	64	68,3	70,4	75
buurtontsluiting	21	16	8,6	13	10	16,2	5,6	7
buurtgroen (1000 m^2)	13	13	20,9	13	13	–	20,3	13
open water	13	12	18,1	12	12	7,8	12,8	12
overig (taluds + voorziening)	10	10	23,6	10	10	10,8	19,4	10
totaal oppervlak	324	274	271,8	233	201	181,2	200,1	175
bruto dichtheid (won./ha)	31	36	36,8	43	50	55,2	50	57

1 De grondkostenindex [9-12]
2 WORG-rapport – model E [9-5]
3 Alphen a/d Rijn, Ridderveld 2, vak C [9-12]
4 WORG-rapport – model F [9-5]
5 WORG-rapport – model G [9-5]
6 Den Haag, Houtwijk-E [9-12]
7 Rotterdam, Beverwaard-1 [9-12]
8 WORG-rapport – model H [9-5]

koopste vorm van grondgebruik betreft steeds een minimale hoeveelheid verharding, met zoveel mogelijk woningontsluiting en voetgangersverharding, en een maximale hoeveelheid groen, met minimaal blokgroen. Uit fig. 9.5 zijn de volgende conclusies te trekken:

- Naarmate de bruto woningdichtheid toeneemt, nemen de kosten per woning af. De kosten per woning bij de hoogste dichtheid bedragen 60 à 70% van de kosten per woning bij de laagste dichtheid.
- De kostenverschillen tussen de dure en de goedkope vormen van grondgebruik nemen af naarmate de dichtheid toeneemt; bij een bruto woningdichtheid van 35 woningen/hectare bedraagt het kostenverschil 30 à 35%; bij een dichtheid van 55 woningen/hectare bedraagt het kostenverschil ongeveer 13%.
- De kostenverschillen zijn besproken in hoofdstuk 4.

De beheersing van grondkosten is in de literatuur steeds aan de hand van voorbeelden en proefverkavelingen geïllustreerd. Zo heeft Brands-Poot reeds in 1970 in het rapport 'Verkavelingskosten eengezinsrijenhuizen' laten zien dat de kosten sterk worden beïnvloed door de verkavelingen (fig. 9.7) [9-23].

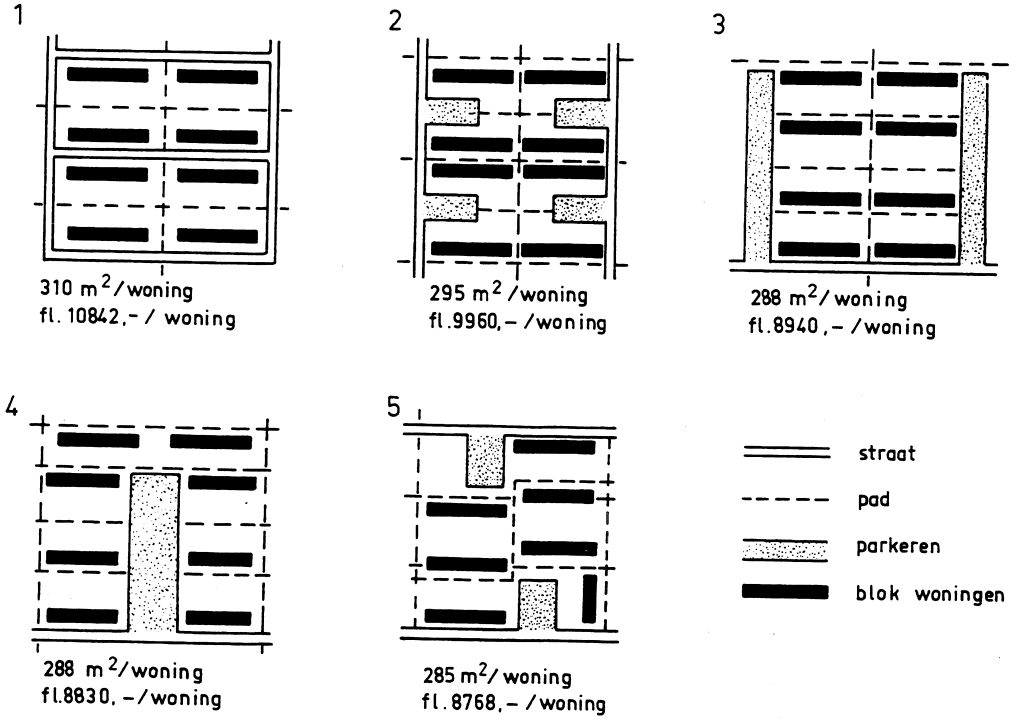


Fig. 9.7. Verkavelingskosten eengezinsrijenhuizen [9-23]

Diverse andere studies zijn verschenen, waarvan hier nog wordt vermeld de studie van Renkema [9-13] (tabel 9.9).
De dichtheid bepaalt mede de hoogte van de kosten voor het woonrijp maken. Bij toename van de dichtheid stijgen de kosten per hectare, de kosten per woning dalen. Volgens Klawer zet deze daling niet door, maar slaat deze om in een stijging van de kosten per woning, wanneer de dichtheid hoger dan ± 40 woningen per hectare wordt (fig. 9.8). Indien ook de bouwkosten beschouwd worden zou dit beeld zich versterken. Hier zou blijken dat naar mate mensen dichter op elkaar wonen, relatief meer maatregelen nodig zijn om de woonkwaliteit te handhaven. Echter, ook kosten van verwerving, bouwrijp maken en bovenwijkse voorzieningen moeten in de berekening worden meegenomen en daar is geen omslagpunt aanwezig (fig. 9.5).

Tabel 9.9. Verkavelingskosten en ruimtegebruik per woning bij verschillende dichtheden. Tabel op basis van gegevens in: [9-13] (prijspeil 1975)

Netto dichtheid	30 woningen/hectare		40 woningen/hectare		50 woningen/hectare	
Aantal proefverkavelingen	4		2		4	
	gemiddeld m^2/won.	fl./won.	gemiddeld m^2/won.	fl./won.	gemiddeld m^2/won.	fl./won.
Kosten gemiddeld		6.060,–		4.195,–		3.665,–
variatie		5.435,––6.530,–		3.839,––4.505,–		3.185,––3.985,–
Openbaar terrein	167		123		97	
waarvan woonstraat	29	1.315,–	23	1.010,–	18	820,–
parkeren	13	390,–	13	390,–	12	370,–
fiets/voetpad	73	1.455,–	42	840,–	34	675,–
speelplaatsen	5	300,–	5	300,–	5	300,–
openbaar groen	47	235,–	40	200,–	28	140,–
D.W.A. riolering (m^1)	11	970,–	7	630,–	7	610,–
R.W.A. riolering (m^1)	14	1.050,–	8	600,–	8	580,–
Openbare verlichting	–	345,–	–	225,–	–	170,–

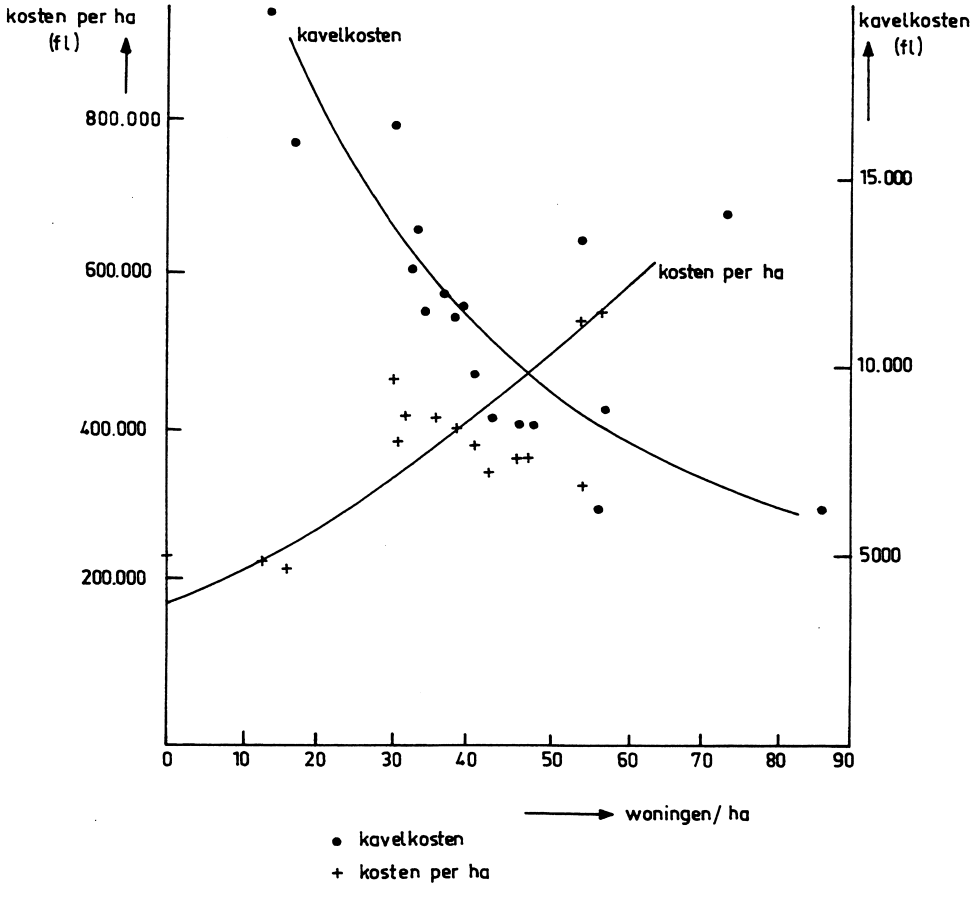


Fig. 9.8. Kosten van woonrijp maken bij verschillende dichtheden [9-22]

De dichtheid van de bebouwing wordt voor woningbouw over het algemeen uitgedrukt in de eenheid woningen per hectare. Er is om een aantal redenen behoefte aan een andere eenheid. Ten eerste is het bij onduidelijke economische vooruitzichten moeilijk voorspellingen te doen over de verdeling van de woningen over de financieringscategorieën; ten tweede is er sprake van veranderingen in woningbehoefte en samenstelling van huishoudens. Pogingen tot een meer flexibele dichtheidsdefiniëring gaan in de richting van het werken met bruto-vloeroppervlak [9-24].

9.5 De grondprijzen

De kosten die gemaakt zijn om de ruwe bouwgrond om te zetten in bouwrijp en woonrijp gemaakte grond moeten in principe betaald worden via het uit te geven terrein. De berekeningen om te komen tot de zogenaamde uitgifteprijzen zijn sinds enige jaren geüniformeerd. In de rapporten 'grondkosten woningbouw' (het 'bruine boekje') en 'grondkosten bestemmingsplannen' (het 'blauwe boekje') wordt een exploitatieberekeningsmethode aanbevolen. Het uitgangspunt met betrekking tot deze berekening wordt in het 'blauwe boekje' samengevat: *'er kan in beginsel van worden uitgegaan, dat in normale gevallen binnen het kader van de maatstaven en richtlijnen zowel een sluitende begroting als een behoorlijke plankwaliteit realiseerbaar zijn. Slechts in bijzondere gevallen kan er aanleiding zijn tot het zoeken naar andere dekkingsmogelijkheden'*. Ook de eindwaardenmethode kent een geüniformeerde berekeningswijze [9-6].

9.5.1 Verhaal van kosten op het plan

Als eerste stap is nodig te bepalen welk deel van de totaal te maken kosten ten laste van het plan worden gebracht. Dat zijn alle kosten die gemaakt worden ten behoeve van het plan. Er zijn soms een aantal werken binnen en buiten het plan die niet uitsluitend ten dienste staan van de toekomstige bewoners, maar die mede dienen voor – of verband houden met – het grotere geheel waartoe de wijk behoort. In het 'bruine boekje' staat dat een redelijk aandeel in de kosten van die werken toegerekend moeten worden aan het plan. Het 'blauwe boekje' werkt deze vage formulering verder uit. Dit betreft de zogenaamde omslagkosten die soms in een gemeentelijke omslagnota zijn uitgewerkt. In de eerste plaats wordt in het 'blauwe boekje' gesteld dat de kosten van een rioolwaterzuiveringsinstallatie niet ten laste van de grondexploitatie mogen worden gebracht, omdat deze kosten via een heffing door de zuiveringsschappen worden geïnd. In de tweede plaats wordt van de kosten van bijzondere werken binnen de plangrenzen, aangegeven welk deel ten laste komt van het plan. Het gaat hierbij bijvoorbeeld om wegen en kunstwerken van hogere betekenis dan voor het plan alleen, of groenelementen ter voorziening in bestaande gemeentelijke tekorten. In de derde plaats gaat het om kosten van bijzondere werken buiten het plan. Dit zijn bovenwijkse voorzieningen, toeleidingswegen en leidingen bij geïsoleerde ligging van het plan, noodzakelijke ingrepen in de bestaande bebouwing, voorzieningen in een centrumgemeente ten behoeve van randgemeenten en bufferzones ten opzichte van wegen, industrieën en dergelijke. In de vierde plaats kosten uit hoofde van bijzondere omstandigheden. Het gaat hierbij om gegeven belemmeringen om tot een economische planopzet te komen, voorzieningen in verband met toekomstige uitbreidingen, bijzondere kosten uit hoofde van een bepaalde taak van een gemeente en de noodzaak van het in gebruik nemen van relatief dure gronden.
In het 'blauwe boekje' wordt aangegeven op welke wijze bovenstaande kostenposten moeten worden toegerekend.
Op deze wijze worden voor een plan dus de totale kosten bepaald als de som van de directe kosten en de omslagkosten.

9.5.2 Verhaal van kosten binnen het plan

Nadat de totale kosten die op het plan drukken zijn bepaald, moet de verdeling daarvan over de diverse kostendragers (woningen, industriegebouwen, winkels, scholen, enz.) binnen het plan worden vastgesteld.
De totale kosten gedeeld door het aantal vierkante meters uitgeefbaar terrein, geeft de gemiddelde kostprijs per vierkante meter. De waarde van de grond is echter een afgeleide waarde, die afhankelijk is van het gebruik van de grond. De waarde hangt af van de ligging, de bestemming en de toegestane horizontale en verticale bebouwingsdichtheid. De gemeenten variëren nu de grondprijzen per bestemming, zodat ze beter in

overeenstemming zijn met de afgeleide waarde. De grondprijzen worden in een onderlinge verhouding gedifferentieerd overeenkomstig de verwachte waarde in het vrije economische verkeer.

Voor het vaststellen van de differentiatie zijn in de loop der tijden een aantal methoden ontwikkeld, waarvan alleen die van het 'bruine boekje' hier wordt besproken. Deze methode wordt aanbevolen door het Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer. Als rekeneenheid wordt bij deze methode gebruik gemaakt van een eenvoudige, normaal gelegen, ééngezinswoning in een rij. Deze eenheid krijgt de naam 'fictieve woning'. De verschillende soorten woningen in het plan worden met behulp van correctiefactoren voor bestemming, ligging, terreinoppervlakte en bouwhoogte omgerekend in fictieve woningen (tabel 9.10). Van de 'overige gronden', dat zijn de bouwterreinen bestemd voor niet-woningbouw, wordt de grondprijs berekend uitgaande van de gemiddelde kostprijs al of niet verhoogd met een factor, of van de marktwaarde, afhankelijk van de bestemming.

De totale kosten verminderd met de opbrengst uit de niet-woningbouw, wordt gedeeld door het aantal fictieve woningen; dit geeft de kavelprijs per fictieve woning. Door nu deze kavelprijs te vermenigvuldigen met de correctiefactor van de verschillende soorten

Tabel 9.10. Bepaling van het aantal fictieve woningen in een voorbeeldplan

woning-typen	aantal woningen	terrein-oppervlak per woning (m^2)	Correctiefactoren					aantal fictieve woningen (aantal woningen × eind factor)
			bestem-ming (a)	lig-ging (b)	opper-vlak (c)	bouw-hoogte (d)	eind-factor(*)	
Woningwet								
W_1	50	65	0,8	1	1	0,8	0,64	32
W_2	40	135	1	1	1	1	1	40
W_3	100	160	1	1	1	1	1	100
Premie								
P_1	100	160	1,15	1	1	1	1,15	115
P_2	80	190	1,25	1	1,20	1	1,50	120
Vrije sector								
V_1	60	225	1,3	1,1	1,40	1	2,0	120
V_2	10	300	1,3	1,2	1,90	1	3,0	30
V_3	10	600	1,3	1,2	3,75	1	5,85	58,50
Totaal	450							615,50

(*) eindfactor = (a) × (b) × (c) × (d)

Tabel 9.11. Gegevens exploitatiegebied van een voorbeeldplan (zie tabel 9.10)

Uitgeefbaar terrein woningen	78.350 m^2
Verharding netto plangebied	24.040 m^2
Groen netto plangebied	4.500 m^2
Netto plangebied	106.890 m^2
Uitgeefbaar terrein voorzieningen	4.500 m^2
Verharding (ontsluiting)	3.150 m^2
Groen bruto plangebied	9.000 m^2
Bruto plangebied	123.540 m^2

woningen vindt men de kavelprijs van die woningen. Het is steeds meer gebruikelijk dat de marktwaarde rechtstreeks wordt ingevuld in de opbrengsttabel.

De berekeningsmethoden worden geïllustreerd met behulp van een voorbeeldplan, waarvan de gegevens vermeld staan in tabel 9.11 en 9.12.
Met behulp van de globale bedragen uit par. 9.3 is een investeringstabel samengesteld (tabel 9.12)

Tabel 9.12. Investeringsplan van een voorbeeldplan (zie tabel 9.10)

a. Verwerving	*f* 1.235.400,–
b. Grondwerk en waterhuishouding	*f* 2.450.000,–
c. Verharding	*f* 2.000.000,–
d. Groen	*f* 280.000,–
e. Riolering	*f* 1.250.000,–
f. Voorbereiding PVT (over a t.m. e)	*f* 1.076.400,–
g. Omslag	*f* 900.000,–
Totaal	*f* 9.191.800,–

De investeringen zijn gefaseerd zoals aangegeven in tabel 9.13. Volgens de 'bruin-boekje-methode' gaat de berekening als volgt:
Het renteverlies wordt berekend volgens vuistregels over de investeringen gesplitst in:
- verwerving: renteverlies over de helft van de veronderstelde looptijd,
- bouw- en woonrijp maken: renteverlies over 1,5 jaar,
- omslag: afhankelijk van de omstandigheden.

Het voorbeeldplan heeft een looptijd van 7 jaar en de omslagkosten worden berekend over een periode van 1,75 jaar. De totale rentekosten van het plan bedragen dan bij een rente van 10%: *f* 1.783.350,–.

Tabel 9.13. Fasering investeringen en verkoop uitgeefbaar terrein

jaar	1	2	3	4	5	6	7
investeringen (× *f* 1.000,–)	1000	1.735,4	1.750	1.950	1.200	1.100	456,4
verkoop terrein							
– woningbouw (m^2)	–	–	8.650	32.000	21.950	9.750	6000
– voorzieningen (m^2)	–	–	–	900	900	1.800	900
aantal fictieve woningen	–	–	72	215	180	90	58,5
fictieve voorzieningen (m^2)	–	–	–	900	1.150	1.800	900

De verdere procedure en de berekening staat aangegeven in tabel 9.14.

Tabel 9.14. Berekening kavelkosten van het voorbeeldplan volgens de 'bruine-boekje-methode'

1. Totale kosten	*f* 10.975.150,—
2. Uit te geven terrein (tabel 9.13)	82.850 m^2
3. Gemiddelde kostprijs per m^2 (1. gedeeld door 2.)	*f* 132,47
4. Fictieve voorzieningen (tabel 9.13)	4.750 m^2
5. Opbrengst voorzieningen (3. vermenigvuldigd met 4.)	*f* 629.233,—
6. Op te brengen door woningen (1. verminderd met 5.)	*f* 10.345.917,—
7. Aantal fictieve woningen (tabel 9.12)	615,5
8. Kavelprijs per fictieve woning (6. gedeeld door 7.)	*f* 16.809,—

Door de kavelprijs per fictieve woning te vermenigvuldigen met de eindfactor van een bepaald type woning wordt de kavelprijs per woning gevonden:

Kavelprijs woningtype W_1 *f* 10.758,–
Kavelprijs woningtype W_2 *f* 16.809,–
Kavelprijs woningtype W_3 *f* 16.809,–
Kavelprijs woningtype P_1 *f* 19.330,–
Kavelprijs woningtype P_2 *f* 25.214,–
Kavelprijs woningtype V_1 *f* 33.618,–
Kavelprijs woningtype V_2 *f* 50.427,–
Kavelprijs woningtype V_3 *f* 98.333,–

Bij de eindwaardemethode wordt zowel renteverlies en rentewinst als geraamde kosten- en opbrengstenstijging meegerekend. Hiervoor is dus het faseringsschema van kosten en opbrengsten vereist. Om de investeringen en opbrengsten in de verschillende jaren onderling vergelijkbaar te maken worden deze over de periode tot de einddatum van de exploitatie met rentewinst en renteverlies belast. De eindwaardefactor voor de kosten bestaat dan uit een kostenstijgingsfactor en een renteverliesfactor. De eindwaardefactor voor de opbrengsten bestaat uit een opbrengstenstijgingsfactor en uit een rentewinstfactor.
De eindwaardefactoren van het voorbeeldplan staan aangegeven in tabel 9.15 bij de parameters rente 10% per jaar en inflatie 6,5% per jaar.

Tabel 9.15. Eindwaardefactoren voor het voorbeeldplan

Datum	Kosten- en Opbrengsten-factor
1.7.1°-jaar	$1{,}065^{0{,}5} \times 1{,}10^{6{,}5} = 1{,}9175$
1.7.2°-jaar	$1{,}065^{1{,}5} \times 1{,}10^{5{,}5} = 1{,}8565$
1.7.3°-jaar	$1{,}065^{2{,}5} \times 1{,}10^{4{,}5} = 1{,}7974$
1.7.4°-jaar	$1{,}065^{3{,}5} \times 1{,}10^{3{,}5} = 1{,}7402$
1.7.5°-jaar	$1{,}065^{4{,}5} \times 1{,}10^{2{,}5} = 1{,}6848$
1.7.6°-jaar	$1{,}065^{5{,}5} \times 1{,}10^{1{,}5} = 1{,}6312$
1.7.7°-jaar	$1{,}065^{6{,}5} \times 1{,}10^{0{,}5} = 1{,}5793$

De investeringen en de opbrengsten, dat is de hoeveelheid m^2 uitgeefbaar terrein voor voorzieningen en het aantal fictieve woningen, moeten op eindwaarde worden gebracht door vermenigvuldiging met de eindwaardefactor. Dit is weergegeven in tabel 9.16.

Tabel 9.16. Kosten en opbrengsten op eindwaarde (e.w.)

jaar	1	2	3	4	5	6	7	Totaal
Eindwaardefactoren	1,9175	1,8565	1,7974	1,7402	1,6848	1,6312	1,5793	
Investeringen (× *f* 1.000,–)	1.000	1.735,4	1.750	1.950	1.200	1.100	456,4	9.191,8
Investeringen op e.w.	1.917,5	3.221,8	3.145,5	3.393,4	2.021,8	1.794,3	720,8	16.215,1
Uitg. terrein voorz.	–	–	–	900	1.150	1.800	900	4.750
Uitg. terrein voorz. op e.w.	–	–	–	1.566,2	1.937,5	2.936,2	1.421,4	7.861,3
Uitg. terrein totaal	–	–	8.650	32.900	23.100	11.550	6.900	82.850
Uitg. terrein totaal op e.w.	–	–	15.547,5	57.252,6	38.918,9	18.840,4	10.897,2	141.456,6
Fictieve woningen	–	–	72	215	180	90	58,5	613,5
Fictieve woningen op e.w.	–	–	129,4	374,1	303,3	146,8	92,4	1.046

Volgens dezelfde procedure als in tabel 9.14, maar dan met de gegevens op eindwaarde, wordt nu de fictieve kavelprijs berekend.

Tabel 9.17. Berekening kavelkosten van het voorbeeldplan volgens de eindwaardemethode

1.	Totale kosten op eindwaarde (e.w.) (tabel 9.16)	*f* 16.215.100,—
2.	Uit te geven terrein op e.w. (tabel 9.16)	141.456,6 m²
3.	Gemiddelde kostprijs per m² (1. gedeeld door 2.)	*f* 114,63
4.	Fictieve voorzieningen op e.w. (tabel 9.16)	7.861,3 m²
5.	Opbrengst voorzieningen op e.w. (3. vermenigvuldigd met 4.)	*f* 901.140,82
6.	Opbrengst woningbouw op e.w. (1. verminderd met 5.)	*f* 15.313.959,18
7.	Aantal fictieve woningen op e.w. (tabel 9.16)	1.046
8.	Kavelprijs per fictieve woning (6. gedeeld door 7.)	*f* 14.640,—

Voor woningtype W_2 is de kavelprijs *f* 14.640,–, voor woningtype P_2 *f* 21.960,– en voor woningtype V_1 *f* 29.280,–.

Bij de 'gefaseerde-bruine-boekje-methode' worden de rentekosten en rentewinsten, net als bij de eindwaardemethode, bepaald aan de hand van een kosten- en opbrengstenfasering [9-8]. Niet wordt gerekend met inflatie, dus kosten- en opbrengstenstijgingen worden buiten beschouwing gelaten. De rentefactor op datum 1.7.1°-jaar is dus $1{,}10^{6{,}5}$ = 1,8580. De procedure is verder gelijk aan die van de eindwaardemethode. De kavelprijs per fictieve woning van het voorbeeldplan is bij deze methode *f* 15.868,–.

In de tussentijdse evaluatie van de eindwaardemethode [9-8] blijkt een meningsverschil tussen gemeenten (V.N.G.) en rijksoverheid aangaande de eindwaardemethode. De achtergrond daarvan is te zien aan de uitkomst van de kavelprijsberekeningen in het voorgaande voorbeeld. Uit de eindwaardemethode volgt een lagere kavelprijs op de startdatum dan met de beide 'bruin-boekje-methoden'. Dit wordt goedgemaakt door opbrengststijgingen in latere jaren. De gemeenten beschouwen dit als extra risico, de opbrengsten worden verschoven naar een (onzekere) toekomst, bij een rekenmethode met verschillende onzekere variabelen. Ook zou de eindwaardemethode inflatoir werken: een prognose van opbrengststijging in de toekomst betekent dat ook minimaal deze hogere opbrengst moet worden bereikt. Er zit dan zeker geen ruimte in de exploitatie om kostenverhogingen op te vangen. Door de hogere kavelprijs op startdatum volgens de 'bruine-boekje-methoden' doen deze problemen zich daar minder voor. Uit de evaluatie bij een aantal gemeenten die de methode toepassen, blijken deze bezwaren niet [9-7]: de eindwaardemethode wordt als een werkbaar instrument voor grondkostenexploitaties gezien.
Het verdient wel aanbeveling de grondkostenexploitatie elk jaar te herzien.

Subsidies
Aan de inkomstenkant van de grondexploitatie staan diverse subsidies. Het betreft onder andere:
- locatiesubsidie (stadsvernieuwing en stadsuitbreiding),
- bijdragen in reconstructie en saneringsplannen (stadsvernieuwing),
- interim saldo-regeling (stadsvernieuwing),
- interim saldo-regeling voor aanleg parkeervoorzieningen in dichtgebouwde gebieden (stadsvernieuwing en stadsuitbreiding),
- verkeersinfrastructurele werken ten behoeve van nieuwe stedelijke gebieden (groeikernen).

Er bestaan nog vele andere subsidies bij verschillende ministeries.

9.6 Bodemgeschiktheidsbeoordeling

9.6.1 Inleiding

In de voorgaande paragrafen is de gedetailleerde grondkostenberekening besproken, die gericht is op het vervaardigen van een grondkostenexploitatie. In feite is dat de laatste stap in een proces van kostenbegeleiding van woningbouwprojecten.
Zoals duidelijk is geworden in de voorgaande hoofdstukken is het altijd nodig om werkzaamheden uit te voeren om een gebied geschikt te maken als bouwterrein. De gegeven situatie van de bodemgesteldheid en waterhuishouding in de klei- en veengebieden en, zij het in mindere mate, in de zandgebieden is zonder maatregelingen niet geschikt voor het bouwen van woongebieden. Met deze aanpassingsmaatregelen worden de beperkingen van de bodem en de waterhuishouding opgeheven. Deze noodzakelijke maatregelen verschillen van plaats tot plaats, zowel bezien op regionale schaal als op lokale schaal. De plaatselijke verschillen in maatregelen geven verschillen in kosten. De aanpassingskosten van de maatregelen kunnen als één van de criteria worden gebruikt voor de beoordeling van de potentiële geschiktheid van gebieden voor stedelijke bestemmingen. De financiële consequenties van de ruimtelijke variatie in de bodem en waterhuishouding, zoals deze blijken uit diverse studies, leiden tot de conclusie dat juist in het streekplan en structuurplan de grondkosten voor een belangrijk deel worden vastgelegd (fig. 9.9).

In de bodemgeschiktheidsbeoordeling wordt de gegeven situatie van bodemgesteldheid en waterhuishouding vergeleken met de aan een bouwterrein te stellen eisen (fig. 9.10). De bestaande situatie wordt onderzocht in een bodemkundig-hydrologisch

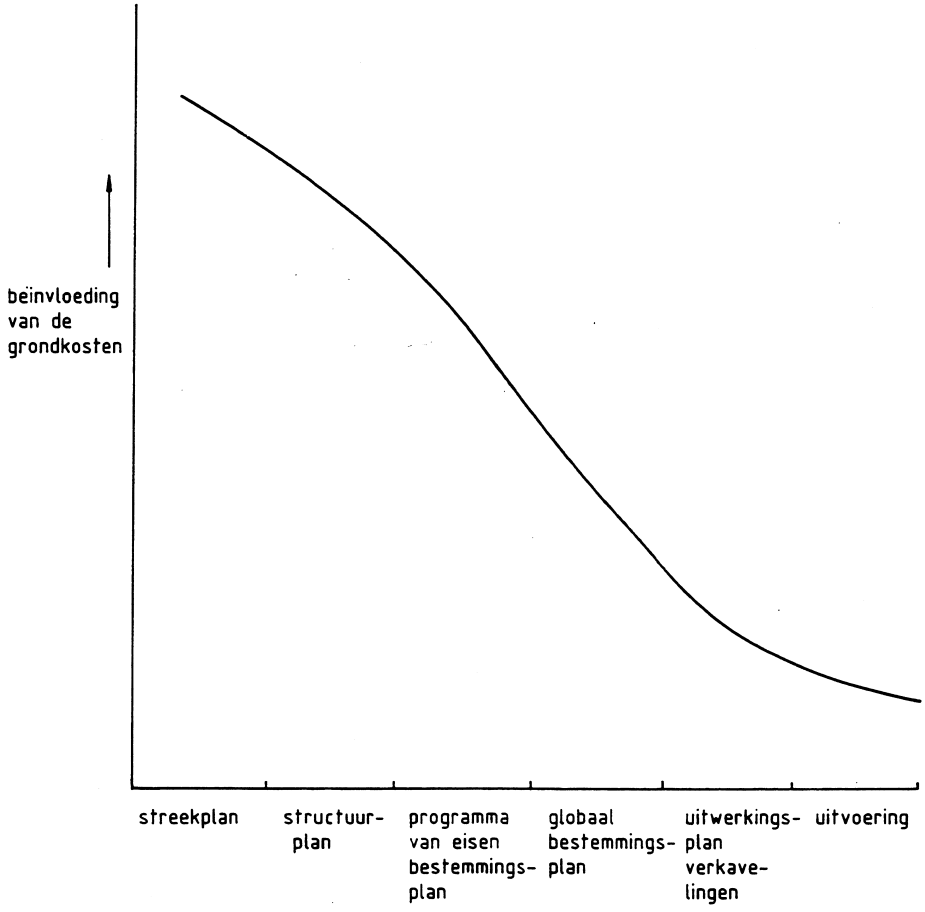


Fig. 9.9. Beïnvloedbaarheid van grondkosten in de ruimtelijke planning

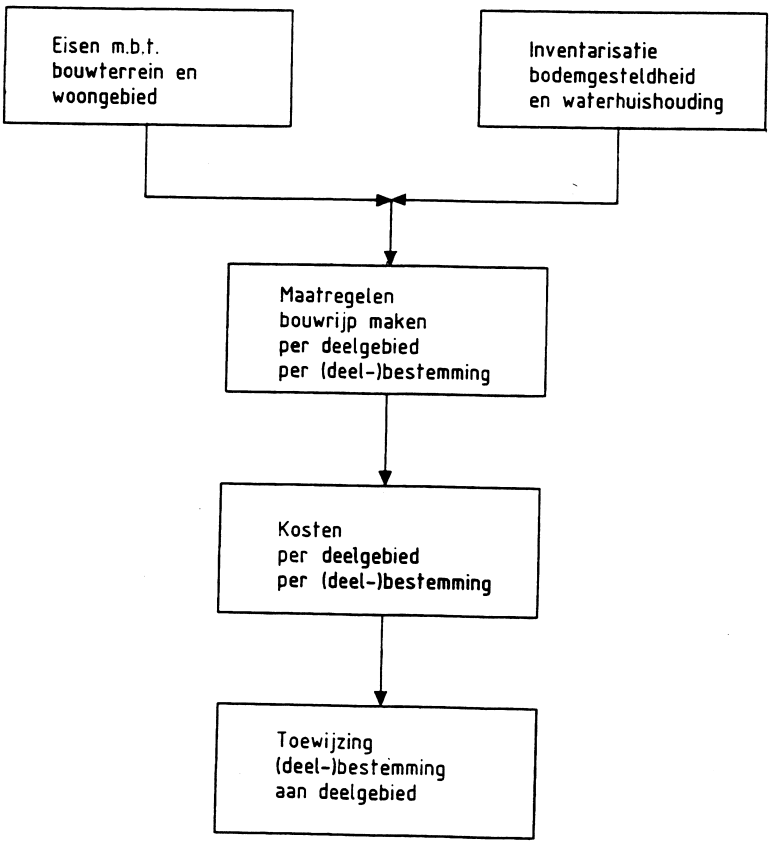


Fig. 9.10. Stappenschema bodemgeschiktheidsbeoordeling

onderzoek. Om met de gegevens van dit onderzoek de aanpassingsmaatregelen vast te stellen is een referentiekader nodig, een klasse-indeling waarmee de relatieve ernst van de beperking wordt aangegeven. Het eindresultaat van de beoordelingsstudie is een kaart waarop op een of andere wijze de geschiktheid van deelgebieden in het studiegebied voor ontwikkeling tot stedelijk gebied staat aangegeven. Om zo de geschiktheid te kunnen bepalen moet dus voor elk deelgebied in het studiegebied de methode van bouwrijp maken worden vastgesteld. Afhankelijk van het schaalniveau van de studie gebeurt dat meer of minder globaal. In tabel 9.18 worden van een tweetal studies de in die studies onderscheiden maatregelen weergegeven.

Tabel 9.18. In een bodemgeschiktheid te onderscheiden maatregelen

regionale studies [9-15]	lokale studies [9-25]
(1. belemmeringen)	1. grondwerk
(2. verwerving)	2. aanleg waterpartijen en riolering
3. bodemverbetering	3. fundering hoogbouw
4. riolering	4. fundering laagbouw
5. fundering gebouwen	5. fundering bungalows
(6. inpasbaarheid; infrastructuur)	6. fundering verharding
	7. groenvoorzieningen

In hoofdstuk 2 is de wijze van informatieverwerking van het bodemkundig-hydrologisch onderzoek aangeduid (fig. 2.9). De zogenaamde afgeleide kaarten moeten zodanig worden gemaakt dat ze gebruikt kunnen worden als klasse-indeling bij de beoordeling. In tabel 9.19 is deze relatie weergegeven.

Tabel 9.19. Onderdelen van de bodemgeschiktheidsbeoordeling

beperkingen in de gegeven situatie	maatregelen	referentiekaders (klasse-indelingen)
bodem en water zanddiepte	grond- en waterwerk verhardingen riolering fundering	afgeleide bodem- en grondwaterkaart kaart van de water-huishouding kaart met storende lagen kaart met dikte (holocene) pakket

In dit verband kan onderscheid gemaakt worden tussen algemene maatregelen en specifieke maatregelen [9-25]. Algemene maatregelen zijn nodig voor het gehele oppervlak van het toekomstige woongebied, ongeacht de inrichting, bijvoorbeeld het in tabel 9.18 genoemde grondwerk bij een integraal opgehoogd en systematisch gedraineerd gebied. Specifieke maatregelen worden uitgevoerd over een deel van het gebied, ze zijn onderdeel van deelbestemmingen, zoals verhardingen of fundering.

De bodemgeschiktheidsbeoordeling wordt verder uitgewerkt aan de hand van toepassingen op regionaal en lokaal niveau.

9.6.2 Bodemgeschiktheidsbeoordeling op regionaal niveau

De bodemgeschiktheidsbeoordeling op regionaal niveau richt zich op het in een streekplan of structuurplan afwegen van verschillende locaties. Diverse studies zijn de laatste jaren in Nederland uitgevoerd. [9-15, 9-17, 9-26, 9-27, 9-28, 9-29, 9-30, 9-31, 9-32, 9-33].

De aanpak van een regionale bodemgeschiktheidsbeoordeling kan in een aantal stappen worden uitgevoerd:

a. Voorafgaande aan het bepalen van de locatiegebonden kosten worden belemmeringen die ontwikkelingen uitsluiten onderzocht. In het Grondkosten Classificatie Systeem zijn deze aangeduid als primaire belemmeringen. Dit ter onderscheiding van secundaire belemmeringen die bij de derde stap aan de orde komen.

b. Het bepalen van de kosten, die door de locatie worden veroorzaakt, ongeacht de omvang en de opzet van het plan. Het gaat hier om de directe grondkosten en bouwkosten. De volgende kostenelementen zijn daarbij bijvoorbeeld te onderscheiden (tabel 9.18):

- grondverwerving,
- bodemverbetering,
- riolering,
- fundering van woningen.

c. De derde stap omvat het bepalen van de kosten die worden veroorzaakt door de inpassing en de aansluiting van het plan, wat betreft vorm, plaats en omvang, op de bestaande structuur.

Voor het bepalen van de kosten voor inpassing en aansluiting is het noodzakelijk dat er uitspraken worden gedaan van planologische aard. Het gaat hier namelijk om kosten die met het plan verbonden zijn:

- binnen de bouwlocatie: het opnemen van niet-bebouwbare zones of te kruisen obstakels, bijvoorbeeld een spoorweg;

- aan de rand van de bouwlocatie: het niet opnemen of het met maatregelen geschikt maken van bouwbeperkende zones en obstakels;
- buiten de bouwlocatie: het ontsluiten van de bouwlocatie en het aansluiten op bestaande nutsvoorzieningen, bijvoorbeeld riolering en wegen met bijbehorende kunstwerken.

Voor het bepalen van de directe grondgebonden kosten is het noodzakelijk dat uitspraken worden gedaan van stedebouwkundige aard, over de woningdichtheid en het stedelijk grondgebruik.

De bodemgeschiktheidsbeoordeling wordt besproken aan de hand van de studie voor het stadsgewest Nijmegen [9-28].
Het stadsgewest wordt onderzocht om inzicht te verkrijgen in de geschiktheid van gronden voor woningbouw. De bestemming woningbouw wordt omschreven als het bruto-woongebied van een plan met laagbouw en middelhoge etagebouw, met een gemiddelde woningdichtheid van 25 woningen per hectare. De studie is opgezet met de facetten bodem + water en zanddiepte.
De bodemkaart wordt sterk vereenvoudigd, door alleen te kijken naar de voor het bouwrijp maken belangrijke textuur en profielopbouw.
Ten aanzien van de waterhuishouding wordt een tweedeling gemaakt. Een groep gronden kent een hoogste grondwaterstand hoger dan 0,40 m beneden maaiveld. Een tweede groep kent een diepe laagste grondwaterstand en een hoogste grondwaterstand dieper dan 0,80 m; de ontwateringsdiepte is bij deze tweede groep dieper dan 1,00 m.
Wat betreft de grondmechanische aspecten worden in grote lijn vier groepen onderscheiden, te weten zandgronden, zavel- en lichte kleigronden, zware kleigronden en de klei-op-veen, veen en slappe kleigronden. Zo wordt een indeling in acht te onderscheiden groepen gemaakt (tabel 9.20, fig. 9.11).

Tabel 9.20. Referentiekader voor de beperking bodem + water [9-28]

groep 1	droge zandgronden
groep 2	natte zandgronden
groep 3	droge zavel- en lichte kleigronden
groep 4	matig droge zavel- en lichte kleigronden
groep 5	natte zavel- en lichte kleigronden
groep 6	matig droge zware kleigronden
groep 7	natte zware kleigronden
groep 8	natte zware klei-op-veen, veen- en slappe kleigronden

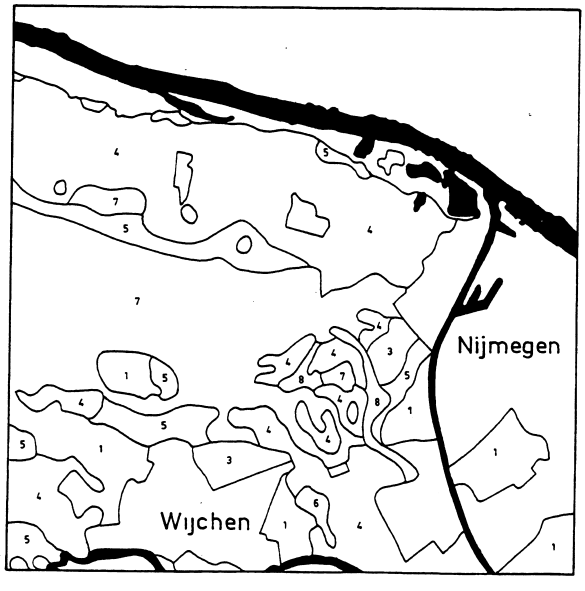


Fig. 9.11. Combinatie van de vereenvoudigde bodemkaart en de grondwatertrappenkaart [9-28]

Voor de beperking zanddiepte wordt een indeling in groepen gemaakt gebaseerd op de dikte van het holocene pakket. Uit onderzoek is vastgesteld dat gefundeerd moet worden op de top van de onderliggende zandlaag. Het gebied wordt ingedeeld in zes te onderscheiden groepen (tabel 9.21, fig. 9.12).

Tabel 9.21. Referentiekader voor de beperking zanddiepte [9-28]

groep 1	zanddiepte 0–1 m ÷ m.v.	gemiddeld 0,80 m
groep 2	zanddiepte 1–2 m ÷ m.v.	gemiddeld 1,75 m
groep 3	zanddiepte 2–3 m ÷ m.v.	gemiddeld 2,50 m
groep 4	zanddiepte 3–5 m ÷ m.v.	gemiddeld 4,00 m
groep 5	zanddiepte 5–7 m ÷ m.v.	gemiddeld 5,50 m
groep 6	dieper dan 7 m ÷ m.v.	gemiddeld 8,00 m

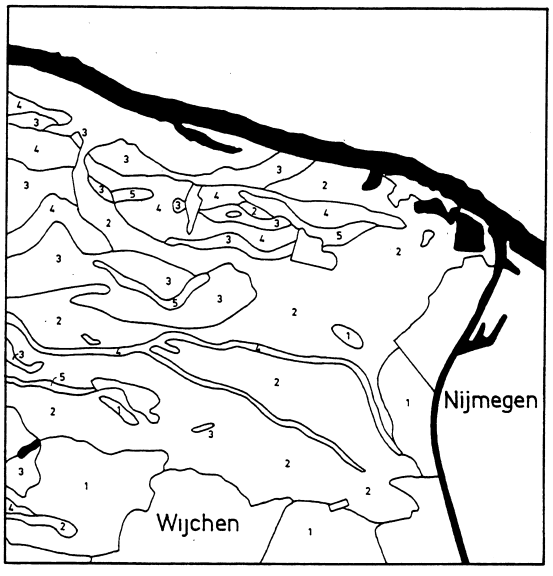


Fig. 9.12. Zanddieptekaart [9-28]

Tabel 9.22. De in verband met de beperking bodem + water uit te voeren maatregelen [9-28]

groep 1	geen singels; riolering 50% eenzijdig bronneren; beperkt egaliseren; cunetten 0,20 m gemiddeld; verharding; groenvoorziening.
groep 2	singels om de 400 m; drainage 100 m^1/hectare; gemaal; riolering 100% tweezijdig bronneren; beperkt egaliseren; cunetten gemiddeld 0,50 m; verharding; groenvoorziening.
groep 3	singels om de 600 m; riolering 50% eenzijdig bronneren; beperkt egaliseren; cunetten gemiddeld 0,40 m; verharding; groenvoorziening.
groep 4	singels om de 600 m; riolering 100% eenzijdig bronneren; drainage 250 m^1/hectare; beperkt egaliseren; cunetten gemiddeld 0,50 m; verharding; herstraten 10%; extra onwerkbare dagen 2,5%; groenvoorziening.
groep 5	singels om de 400 m; drainage 400 m^1/hectare; gemaal; riolering 100% tweezijdig bronneren; ruim egaliseren; cunetten gemiddeld 0,60 m; verharding; herstraten 60%; extra onwerkbare dagen 5%; groenvoorziening.
groep 6	singels om de 600 m; drainage 300 m^1/hectare; riolering 100% eenzijdig bronneren; ruim egaliseren; cunetten gemiddeld 0,50 m; verharding; herstraten 20%; extra onwerkbare dagen 2,5%; groenvoorziening.
groep 7	integraal ophogen 1 m zand; singels om de 600 m; drainage 100 m^1/hectare; riolering 100% eenzijdig bronneren; verharding; groenvoorziening: grondverbetering.
groep 8	integraal ophogen 1,50 m zand (0,50 m zetting); singels om de 600 m; drainage 100 m^1/hectare; riolering 100% eenzijdig bronneren; verharding; herstraten 20%; groenvoorziening: grondverbetering.

Tabel 9.23. Kosten met betrekking tot de beperking bodem + water.
groep 4: matig droge zavel- en lichte kleigronden (tabel 6.22); in guldens per hectare (prijspeil 1972) [9-28]

Egaliseren terrein: *f* 4,–/m³	800,–	
Ontwatering – drainage: *f* 7,50 m¹	1.875,–	
– singels, betuinen, kunstwerken: *f* 153,–/m¹	2.600,–	
Verharding 2.500 m²/hectare		
– cunetten uitzetten en ontgraven	4.500,–	
leveren zand: *f* 8,–/m³	10.000,–	
– verharding aanleg: *f* 22,–/m²	55.000,–	
extra herbestraten: *f* 2,–/m²	500,–	
Groenvoorziening 3.000 m²/hectare		
plantmateriaal *f* 5,–/m²	15.000,–	
grondbewerking	1.200,–	
Drooglegging rioleringssleuf	4.500,–	
Extra onwerkbare dagen 2½%	2.400,–	
	98.375,–	+
Toeslagen (onvoorzien, directiekosten, b.t.w.) 45%	44.270,–	
	142.645,–	+
Renteverliezen 1¼ à 1½ jaar à 7¼% = 9,4%	13.355,–	
Totaal	156.000,–	+

Tabel 9.24. De kosten met betrekking tot de beperking bodem + water en zanddiepte; guldens per hectare (prijspeil 1972) [9-28]

bodem en water		zanddiepte	
groep 1	*f* 128.000,–	groep 1	*f* 65.000,–
groep 2	*f* 158.000,–	groep 2	*f* 104.000,–
groep 3	*f* 140.000,–	groep 3	*f* 124.000,–
groep 4	*f* 156.000,–	groep 4	*f* 135.000,–
groep 5	*f* 184.000,–	groep 5	*f* 141.000,–
groep 6	*f* 170.000,–	groep 6	*f* 154.000,–
groep 7	*f* 191.000,–		
groep 8	*f* 217.000,–		

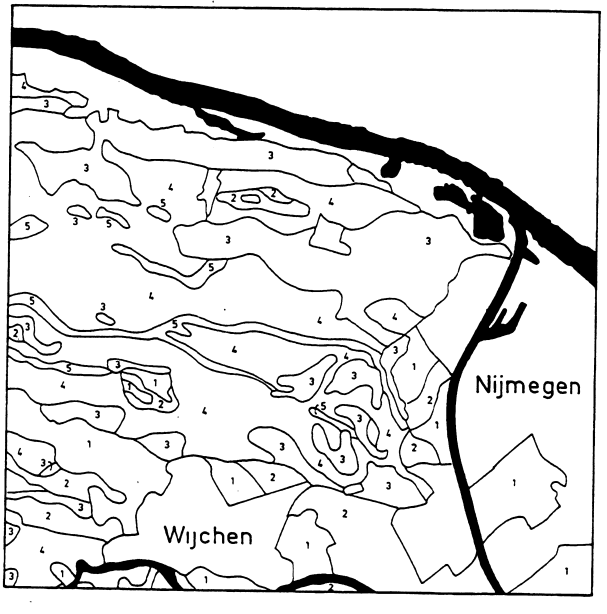


Fig. 9.13. De samengestelde kostenkaart voor een deel van het studiegebied Nijmegen [9-28]

Bepaald moet worden welke maatregelen moeten worden uitgevoerd per onderscheiden groep en welke kosten dat met zich meebrengt. In tabel 9.22 is voor de groepen bodem + water in hoofdlijnen weergegeven welke werkzaamheden moeten worden uitgevoerd. Voor een verdere detaillering en kostenberekening is in tabel 9.23 de uitwerking voor één groep gegeven. Tenslotte is in tabel 9.24 een overzicht gegeven van de kosten voor de diverse groepen bodem + water. In tabel 9.24 zijn ook de kosten weergegeven die zijn toe te rekenen aan de zanddieptegroepen.

Voor elk deelgebied gelden ook nog algemene kosten à *f* 68.000,– per hectare. Door per onderscheiden deelgebied de kosten te sommeren worden de totale kosten per deelgebied bepaald (fig. 9.13).

9.6.3 Bodemgeschiktheidsbeoordeling op bestemmingsplanniveau

De toepassing van een bodemgeschiktheidsbeoordeling voor een bestemmingsplan richt zich op het zoeken naar de meest geschikte locatie voor hoogbouw, laagbouw, groenvoorziening, of elke andere te onderscheiden deelbestemming waarvan de aanlegkosten beïnvloed worden door de bodemgesteldheid en de waterhuishouding. Diverse studies zijn de laatste jaren in Nederland uitgevoerd [9-25, 9-34, 9-35, 9-36, 9-37].
De methode wordt geïllustreerd met een toepassing van het Boclas-systeem voor het bestemmingsplan Tolberg in de gemeente Roosendaal en Nispen [9-25]. Het studiegebied wordt onderzocht om inzicht te krijgen in de geschiktheid van gronden voor de deelbestemmingen hoogbouw, laagbouw, bungalows en sport- en recreatie-voorzieningen. Om een deelbestemming te kunnen maken moeten algemene en specifieke maatregelen worden uitgevoerd, zoals aangegeven in tabel 9.18 onder 'lokale studies'.
Per deelgebied moet worden uitgerekend wat de kosten zijn voor het uitvoeren van de betreffende maatregel. Als voorbeeld van deze zogenaamde enkelvoudige-kostenkaarten, dat zijn de kosten van de afzonderlijke maatregelen, zijn in fig. 9.14 de kosten weergegeven voor een aantal maatregelen voor een deel van het studiegebied. In tabel 9.25 wordt een overzicht gegeven van alle kostengroepen en de klassen waarin ze in het studiegebied voorkomen. De kosten voor de deelbestemmingen zijn nu opgebouwd uit de som van de algemene maatregelen en de specifieke maatregelen.

Tabel 9.25. Kostenmatrix; aanpassingskosten in guldens/m^2 (prijspeil 1979) [9-25]

enkelvoudige bestemmingen	geschiktheidsklassen						
	1	2	3	4	5	6	7*
bouwrijp maken-1	7,45	11,10	–	–	–	–	–
bouwrijp maken-2	0,88	6,56	7,13	1,81	1,81	–	–
verharding	12,68	18,25	29,25	–	–	2,06	1,15
hoogbouw (fundering)	257,50	281,25	305,00	327,50	350,00	–	–
laagbouw (fundering)	77,50	150,00	163,75	177,50	–	–	–
bungalows (fundering)	70,—	108,75	120,—	131,25	–	–	–
groenvoorziening	2,41	1,10	0,88	0,81	–	–	–
sportvelden	1,75	3,63	4,25	–	–	–	–

* De klassen 7, 8 en 9 van bouwrijp maken-2 in [9-25] zijn hier samengevoegd tot klasse 7.

De algemene maatregelen gelden voor het gehele deelgebied, in het voorbeeld een vierkant van 10.000 m^2. De specifieke maatregelen zijn afhankelijk van de grondgebruiksgegevens van de betreffende deelbestemming. De kosten per deelgebied worden nu bepaald door combinatie van de kostenmatrix, de enkelvoudige kaarten en de grondgebruiksindeling. Zo bestaan de kosten voor laagbouw in deelgebied 79 (fig. 9.15) uit:

– bouwrijp maken-1	100% van het oppervlak, klasse 2 = *f* 11,10	*f* 11,10
– bouwrijp maken-2	100% van het oppervlak, klasse 2 = *f* 6,56	*f* 6,56
– verharding	29% van het oppervlak, klasse 3 = *f* 29,25	*f* 8,48
– groenvoorziening	48% van het oppervlak, klasse 2 = *f* 1,10	*f* 0,53
– fundering laagbouw	23% van het oppervlak, klasse 4 = *f* 177,50	*f* 40,83
totale kosten bouwrijp maken deelgebied 79		*f* 67,50

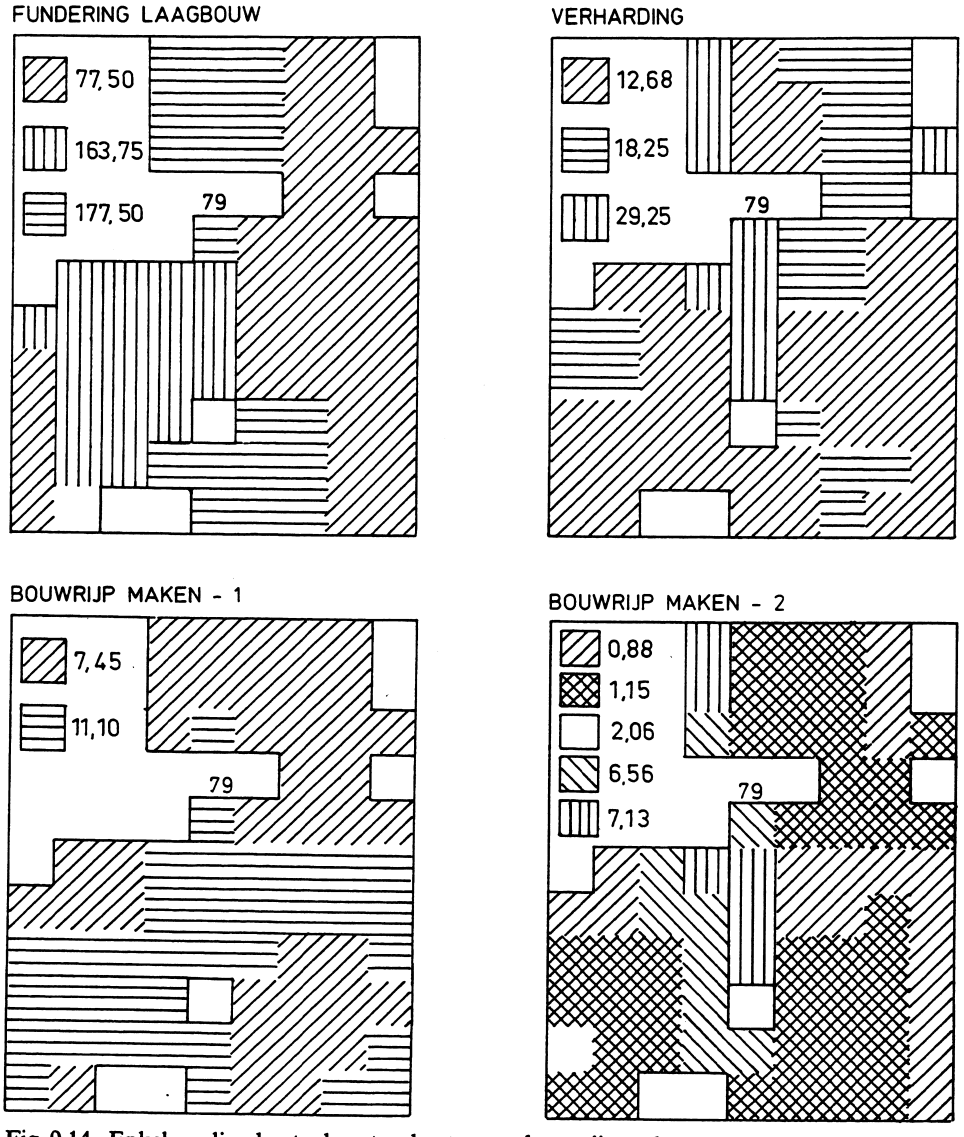


Fig. 9.14. Enkelvoudige-kostenkaarten; kosten van bouwrijp maken – 1 en bouwrijp maken – 2, verharding en fundering laagbouw, voor een deel van het studiegebied Tolberg [9-25]

Het eindresultaat is een samengestelde-kostenkaart per deelbestemming. In fig. 9.15 is de samengestelde-kostenkaart voor een deelbestemming voor een deel van het studiegebied weergegeven.

De resultaten kunnen op verschillende manieren worden gebruikt tijdens de planvorming.
De afzonderlijke samengestelde-kostenkaarten per deelbestemming kunnen door het team dat het stedebouwkundig plan maakt als gegevens worden gebruikt. De kostengegevens zullen dan worden afgewogen ten opzichte van andere gegevens.

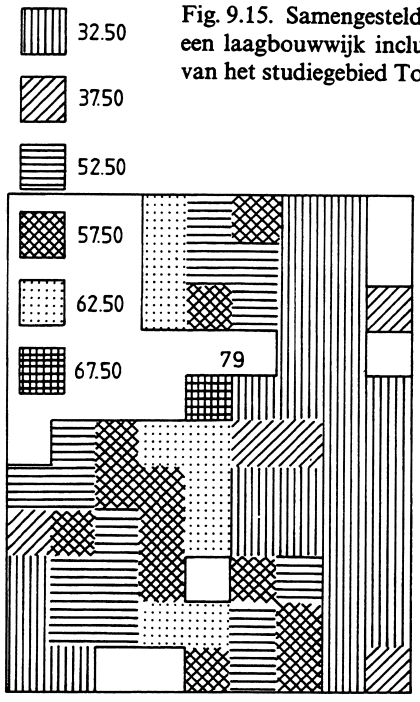


Fig. 9.15. Samengestelde-kostenkaarten; kosten voor een laagbouwwijk inclusief fundering. Voor een deel van het studiegebied Tolberg [9-25]

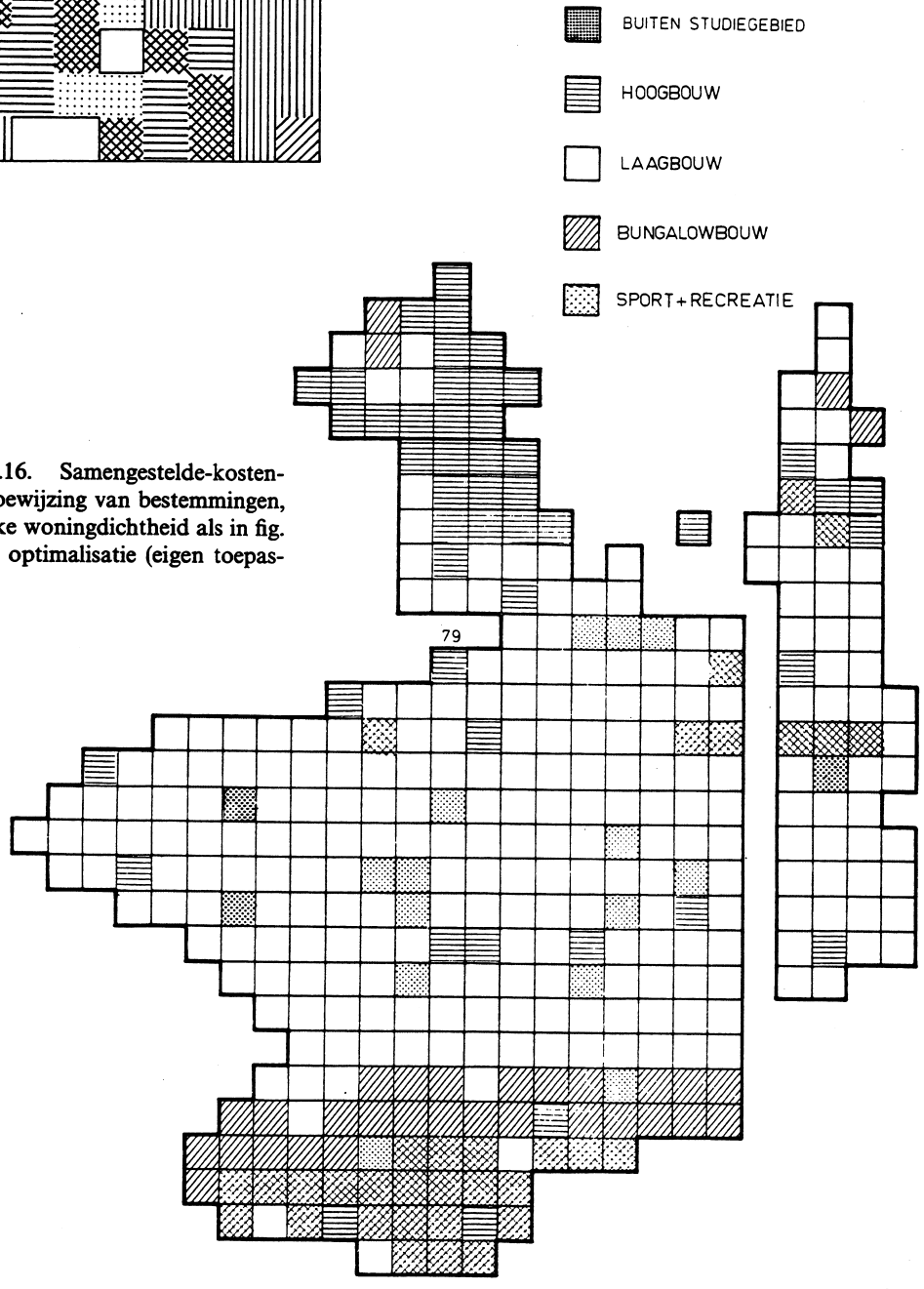


Fig. 9.16. Samengestelde-kostenkaart; toewijzing van bestemmingen, bij gelijke woningdichtheid als in fig. 9.15 via optimalisatie (eigen toepassing)

Ten tweede kunnen variaties in grondgebruiksgegevens worden onderzocht op kostenconsequenties. Zo kan bijvoorbeeld voor een laagbouwwijk de dichtheid worden verhoogd, waardoor het percentage groen sterk afneemt en verharding en fundering toenemen. Het totaal benodigde oppervlakte voor het woongebied neemt af. De totale kostenconsequenties kunnen snel worden onderzocht (fig. 9.16 en 9.17).
Ten derde kunnen de kosten van een bepaald plan worden berekend door het plan om te zetten in aan de deelgebieden toegewezen deelbestemmingen. De kosten worden vervolgens eenvoudig gesommeerd.
Tenslotte kan op eenvoudige wijze met een lineair programmeringsmodel een planindeling worden gemaakt met minimale kosten (fig. 9.16 en 9.17). Uiteraard levert dit laatste nooit een goed stedebouwkundig plan. Het toedelingsplan kan eventueel als vergelijkingsbasis dienen ter beoordeling van op andere wijze gemaakte plannen.

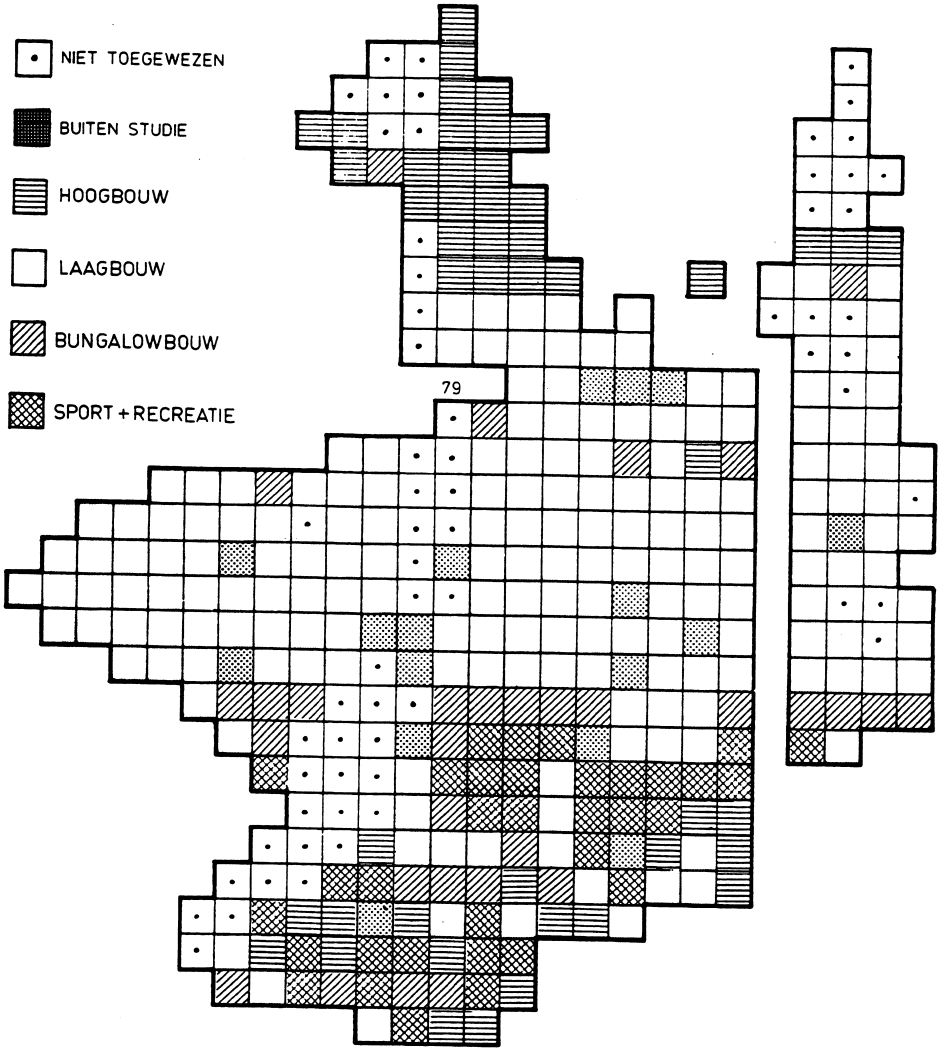


Fig. 9.17 Samengestelde-kostenkaart; toewijzing van bestemmingen via optimalisatie, hogere dichtheid dan in fig. 9.15 en fig. 9.16 (50 woningen/hectare; eigen toepassing)

9.7 Integrale kostenplanning

9.7.1 Inleiding

In economisch minder goede tijden wordt vooral aandacht besteed aan het verlagen van de investeringskosten bij de uitvoering van projecten. Ten aanzien van het bouwrijp- en woonrijp maken en het ontwikkelen van bestemmingsplannen richt deze benadering zich op sober en doelmatig bouwen en verlaging van de grondkosten.
Een betere benadering dan alleen kostenverlaging in de diverse sectoren, is de toepassing van een meer integrale kostenplanning en -bewaking bij de ontwikkeling van woningbouwprojecten. Essentieel in een dergelijke benadering is het feit dat er mogelijkheden van kostenverschuiving bestaan, waarbij een aantal onderdelen aan elkaar gerelateerd zijn [9-40] (fig. 9.18).

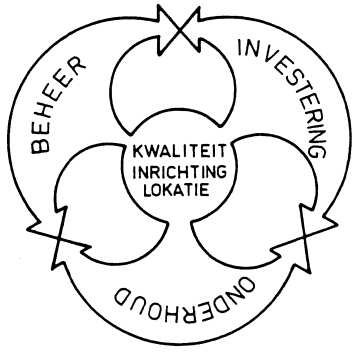


Fig. 9.18. Kostenrelaties (aangepast, naar Heddema) [9-40]

De grondkosten in het kader van woningbouwprojecten zijn omschreven in de vorige paragrafen; de bouwkosten zijn de kosten van de realisering van woningen en andere gebouwen. Er zijn ook kosten die ontstaan nadat het plan gerealiseerd is, de beheerskosten. Beheerskosten zijn al de kosten die bedoeld zijn voor de instandhouding en het functioneren van de stedelijke bebouwde gebieden en die niet worden toegerekend aan grond- en bouwkosten [9-41]. Het betreft kosten die op lange termijn regelmatig weerkeren in de vorm van kapitaals- en exploitatiekosten en ook betreft het investeringen in totaal andere sectoren dan die van de woningbouwprojecten zelf en die tengevolge van woningbouwprojecten noodzakelijk zijn geworden. Anders gezegd: het betreft het onderhoud van het nieuwe stedelijk gebied en het betreft kosten te maken in andere sectoren van de samenleving, zoals bijvoorbeeld energiekosten en investeringen voor nieuwe scholen, sociaal-culturele voorzieningen en nutsvoorzieningen, enz.

Het complex van grond-, bouw- en beheerskosten wordt ondermeer beïnvloed door de keuze van de kwaliteit van de uit te voeren werken en door de locatie en inrichting van het plan.

- Het kwalitatieve verband geeft aan dat het investeringsniveau een relatie heeft met de intensiteit van het noodzakelijke onderhoud. De kwaliteit van het gebruikte materiaal en van de totale constructie is mede bepalend voor de mate waarin later onderhoud nodig is.
- Het verband met locatie en inrichting (wat, hoeveel, waar) geeft de daaruit voortvloeiende kosten aan die nodig zijn om de bestemming te laten functioneren en te onderhouden.

Voor beide verbanden geldt dat naarmate het planproces vordert de mogelijkheid afneemt om de totale kosten te optimaliseren door te schuiven tussen onderdelen.

Het betrekken van de beheerskosten in de ruimtelijke planning is om een aantal redenen noodzakelijk [9-41]:
- de beschikbare overheidsmiddelen dienen op de lange termijn efficiënter besteed te worden;
- door stagneren van de economische groei vallen de opvangmogelijkheden voor financiële tegenvallers in de toekomst weg;
- kapitaalsvernietiging door verstoring van de verhoudingen tussen voorzieningen onderling en van de verhouding tussen voorzieningen en draagvlak moet voorkomen worden.

9.7.2 Locatie- en inrichtingsaspecten

In par. 9.6 is uitvoerig aandacht besteed aan de invloed die de locatie heeft op de grondkosten. Daarnaast is gewezen op het feit dat ook de funderingskosten – die verwerkt worden in de bouwkosten – in belangrijke mate beïnvloed worden door de locatie. Ook voor de kosten van de nutsvoorzieningen geldt dit.

Zoals eerder betoogd zal niet alleen naar de grondkosten moeten worden gekeken bij de locatiekeuze. In een aantal studies is aangetoond dat woningbouw in grootschalige stadsuitbreidingen, in groeikernen of aan de rand van de stad aanzienlijke kosten met zich meebrengen, buiten de directe grond- en bouwkosten [9-38, 9-42, 9-43]. Bij meerekenen van deze kosten worden zogenaamde inbreidingslocaties mogelijk aantrekkelijk. Inbreidingen zijn projecten binnen het bestaande stedelijk gebied. Een algemeen kenmerk van dergelijke locaties is dat ze in meerdere of mindere mate gebruik maken van restcapaciteit van bestaande voorzieningen, zowel van civiel-technische

Tabel 9.26. Locatie en kosten van 2 bestemmingsplannen in Tilburg [9-43] (1975–1976). Kosten in guldens per woning.

	Plan Korvel I (inbreidingsplan)	Plan Groenewoud II (uitbreidingsplan)
Aantal woningen	507	1.089
Investeringen		
grondkosten per woning	f 20.600,—	f 16.200,—
wijkgebouw	–	f 1.636,—
scholen	–	f 3.306,—
gymlokalen	–	f 826,—
waterleiding	f 600,—	f 1.200,—
gas, elektra en c.a.i.	f 1.000,—	f 2.500,—
investeringen totaal	f 22.200,—	f 25.668,—
Beheers- en exploitatiekosten per jaar		
verlichting	f 40,—	f 71,—
brandkranen	f 4,—	f 7,—
riolering	f 6,—	f 23,—
verharding	f 67,—	f 200,—
groen en vijvers	f 81,—	f 495,—
straatreiniging en gladheidsbestrijding	f 26,—	f 73,—
wijkgebouw	–	f 367,—
scholen – onderhoud	–	f 128,—
– personeel	–	f 1.056,—
gymzaal	–	f 9,—
verlenging buslijn	–	f 550,—
rioolgemalen	–	f 27,—
politie surveillance	p.m.	p.m.
brandweer materieel	p.m.	p.m.
algemeen beheer	p.m.	p.m.
Beheers- en exploitatiekosten totaal	f 224,—	f 3.006,—

voorzieningen zoals wegen, riolering en nutsvoorzieningen als van sociaal-culturele voorzieningen zoals scholen, winkels, welzijnsaccommodaties en openbaar-vervoerslijnen. De woningbouw in uitbreidingsplannen heeft steeds in een toename van het bebouwde gebied bij gelijkblijvend inwonertal geresulteerd. In Delft bijvoorbeeld groeit het bebouwde gebied bij gelijkblijvend inwonertal in de periode 1975–1990 met 15%; in Tilburg is er een groei van het bebouwde gebied met 100% bij gelijkblijvend inwonertal in de periode 1970–1990.
Kostengegevens van twee plannen zijn weergegeven in tabel 9.26.
Ook moet gewezen worden op de consequenties van de locatie voor het verkeer. Energie voor verplaatsingen maakt een groot deel uit van het totale energieverbruik. Door de mobiliteitsbehoefte en vervoermiddelkeuze te beïnvloeden kan energie bespaard worden [9-44].
Ook inrichtingsaspecten, zoals verkavelingen en dichtheden, beïnvloeden in sterke mate de grondkosten. In par. 9.4 zijn reeds een aantal inrichtingsaspecten met kostenconsequenties besproken. Als voorbeeld wordt hier het onderwerp geluidhinder behandeld [9-40]. De ter beschikking staande middelen om in geluidwering te voorzien zijn:
1. Afstand van bron tot woning.
2. Geluidwerende voorzieningen zoals wallen, schermen of combinaties van beide.
3. Stedebouwkundige maatregelen zoals geluidarme oriëntatie van bouwblokken ten opzichte van de bron.
4. Architectonische maatregelen zoals minder geluidgevoelige ruimten in woningen.
5. Bouwfysische maatregelen zoals spouw- en glasisolatie.

De financiële gevolgen van maatregel 1 en 2 en eventueel (een deel van) 3 zitten in de grondkosten. De maatregelen 4 en 5 en eventueel (een deel van) 3 hebben rechtstreeks gevolgen voor de bouwkosten. Als indicatie van de omvang van het probleem wordt hier als voorbeeld genoemd dat het zorgen voor een voldoende laag geluidniveau door maatregelen ad. 1 en 2 in een bepaald globaal bestemmingsplan *f* 2.000.000,– kost, ongeveer 2% van de totale grondkosten. Bij grote druk op de grondkosten en bij de gebruikelijke onafhankelijke toetsing van grondkosten en bouwkosten is de verleiding groot om te anticiperen op oplossingen als 3, 4 en 5. Dit leidt evenwel mogelijk niet tot optimalisatie van de totale kosten.

9.7.3 Kwaliteit en onderhoud

Een aantal voorbeelden van de invloed van de kwaliteit op het totaal van grond-, bouw- en beheerskosten is reeds aan de orde geweest in de hoofdstukken 4 en 5. Het al of niet integraal ophogen met zand ten opzichte van de cunettenmethode, het versnellen van de zetting door extra maatregelen, en het al of niet draineren van het bouwterrein is besproken. Aangegeven is dat het verlagen van de grondkosten op zichzelf aanleiding kan geven tot verhoging van de bouwkosten of verhoging van de woonlasten. Bezuinigingsmaatregelen die slechts een verschuiving van de kosten met zich meebrengen zijn niet zondermeer zinvol.

Naast bovengenoemde afweging tussen investeringen in de diverse sectoren is het bij woningbouwprojecten ook wenselijk een onderhoudsbegroting te maken naast de gebruikelijke investeringsbegroting (= grondexploitatie-opzet). Het maken van een beheersplan komt voor bestaande gebieden steeds meer in de belangstelling, maar bij planvorming voor stadsuitbreidingen wordt daar nog weinig aandacht aan besteed [9-40, 9-45]. Op grond van gegevens naar omvang, kwaliteit en functie van de elementen uit een plan kan een berekening worden gemaakt van de totale toekomstige onderhoudskosten. Op grond van budgettaire mogelijkheden kunnen dan prioriteiten worden vastgesteld voor onderhoudsplannen. Een dergelijke planning moet gebaseerd zijn op een systematische verwerking van onderhoudsgegevens. Onderhoudsplanning heeft als doel:

- betere planning van de meerjarenbegroting voor onderhoud;
- betere onderbouwing van de eenheidsprijzen voor de grondexploitatie door de afweging van investeringsniveau ten opzichte van onderhoud;
- minimalisatie van de totale lasten.

Als voorbeeld worden enige gegevens van de onderhoudsberekening van een recent globaal bestemmingsplan gegeven. Tabel 9.27 geeft gegevens over investeringen en onderhoudskosten van mogelijke verhardingen. Tabel 9.28 geeft de berekende onderhoudskosten bij de in het plan gekozen verhardingen. Tabel 9.29 tenslotte geeft de jaarlijkse onderhoudskosten verbonden aan het betreffende globaal bestemmingsplan.

Tabel 9.27. Investeringen en onderhoudskosten van mogelijke verhardingen in guldens per m^2 verharding [9-24] (prijspeil 1981).

Verhardingen		Investering	Onderhoudskosten/jaar
- wijkontsluiting asfalt	- type A_1	102,—	2,25
- wijkontsluiting asfalt	- type A_2	109,—	1,60
- wijkontsluiting beton	- type A_3	140,—	0,37
- buurtstraten asfalt	- type B_1	102,—	1,30
- buurtstraten betonklinkers	- type B_2	62,—	2,05
- buurtstraten gebakken klinkers	- type B_3	85,—	2,30
- woonstraten asfalt	- type C_1	102,—	1,05
- woonstraten betonklinkers	- type C_2	64,—	2,94
- woonstraten gebakken klinkers	- type C_3	87,—	3,25
- parkeerplaatsen klinkers	- type D_1	52,—	2,10
- trottoirs en fietspaden betontegels	- type E_1	50,—	1,50
- trottoirs en fietspaden betonklinkers	- type E_2	62,—	1,80
- vrijliggende voet- en fietspaden asfalt	- type F_1	47,—	0,86
- vrijliggende voet- en fietspaden half-verhard	- type F_2	34,—	1,84

Tabel 9.28. Berekening van de onderhoudskosten van de openbare verharding bij gekozen materialen in guldens per jaar [9-24] (prijspeil 1981).

wijkontsluitingen	A_2	24.000 m^2 × 1,60 =	38.400,—
buurtstraten	B_1	14.300 m^2 × 1,30 =	18.590,—
buurtstraten	B_2	14.300 m^2 × 2,05 =	29.315,—
woonstraten	C_2	70.200 m^2 × 2,94 =	206.388,—
parkeerverharding	D	110.000 m^2 × 2,10 =	231.000,—
trottoirs en fietspaden	E_1	43.300 m^2 × 1,50 =	64.950,—
trottoirs en fietspaden	E_2	43.300 m^2 × 1,80 =	77.940,—
vrijliggende voet- en fietspaden	F_1	9.700 m^2 × 0,86 =	8.342,—
vrijliggende voet- en fietspaden	F_2	9.700 m^2 × 1,84 =	17.848,—
Totaal			*f* 692.773,—

Tabel 9.29. Jaarlijkse onderhoudskosten van een bestemmingsplan (oppervlakte exploitatiegebied 169 hectare) [9-24] (prijspeil 1981).

openbare verharding	*f* 692.773,—
openbaar groen	*f* 535.440,—
watergangen	*f* 84.450,—
riolering	*f* 68.780,—
totale jaarlijkse onderhoudskosten	*f* 1.381.443,—

9.8 Samenvatting

Bij het maken van een stedelijk gebied is het van belang te weten wat het bouwterrein kost en wie deze kosten moeten betalen. De kosten bestaan uit de verwervingskosten, de kosten voor het bouwrijp maken van het terrein, de kosten voor het woonrijp maken, de kosten voor planontwikkeling, voorbereiding en toezicht bij de uitvoering, omslagkosten en rentekosten. Deze kostencomponenten worden in dit hoofdstuk beschreven.
De verdeling van de kosten van het bouwterrein over de verschillende onderdelen wordt eveneens uitvoerig beschreven.
De laatste jaren zijn er een aantal methoden ontwikkeld om voorhanden zijnde gegevens zodanig te bewerken dat voor de locatiekeuze voor stadsuitbreidingen en voor de stedelijke bestemmingen een plan met minimale kosten ontstaat. Deze methoden worden bodemgeschiktheidsbeoordelingen genoemd. Ze worden in dit hoofdstuk toegelicht.
Tenslotte worden de beheerskosten van een stedelijk gebied besproken.

10 Methoden van bouwrijp maken, onderzoek en ontwerp

10.1 Methoden van bouwrijp maken

In de voorgaande hoofdstukken zijn de afzonderlijke maatregelen omschreven, die bij het bouwrijp maken van terreinen worden uitgevoerd. Zoals echter bij de behandeling van de afzonderlijke maatregelen duidelijk is gebleken, kunnen deze maatregelen niet los van elkaar worden gezien. De wijze waarop bijvoorbeeld de ontwatering van een bouwterrein wordt geregeld hangt ten nauwste samen met de wijze waarop de afwatering wordt ontworpen. Het duidelijkst blijkt dit bijvoorbeeld bij de keuze tussen verticale drainage en horizontale drainage. Bij de keuze van de verticale drainage zal het open water – grachten en singels – niet ontworpen hoeven te zijn op de afvoer van stedelijk grondwater, terwijl dit bij de keuze van de horizontale drainage in hoge mate het geval is. De mogelijkheid om tegen aanvaardbare kosten verticaal te draineren zal op haar beurt de keuze van het rioolstelsel beïnvloeden. Immers als er voor de afvoer van het stedelijk grondwater geen open-water-stelsel nodig is, dan zal eerder overgegaan worden tot de keuze voor een gemengd rioolstelsel.

De bebouwingsdichtheid, de verhouding tussen hoog- en laagbouw, de wijze van ontsluiting, alsmede de plaats van het centrum en de voorzieningen in een stedebouwkundig plan, hebben ondermeer een grote invloed op het stedebouwkundig ontwerp. Het stedebouwkundig ontwerp is op haar beurt bepalend voor het ontwerp van het open water in een stedebouwkundig plan. En dus heeft het stedebouwkundig plan weer invloed op de keuze tussen verticale en horizontale drainage.

Eenzelfde afhankelijkheid bestaat er tussen het stedebouwkundig plan en de keuze tussen integrale en partiële ophoging, zoals in hoofdstuk 4 is beschreven. De wijze van ophoging en daarmee van ontwatering en afwatering is sterk afhankelijk van de waterhuishoudkundige, bodemkundige en geologische uitgangssituatie, zoals in de voorgaande hoofdstukken herhaalde malen duidelijk is aangetoond.

De combinatie van afzonderlijke maatregelen voor ontwateren, afwateren en ophogen is, zoals uit het bovenstaande blijkt, van zoveel factoren afhankelijk, dat het niet mogelijk is om algemene regels te ontwerpen die voor iedere situatie aangeven welke de beste oplossing is. De combinatie van de afzonderlijke maatregelen wordt 'methode van bouwrijp maken' genoemd. De beste combinatie van afzonderlijke maatregelen, dus de beste methode van bouwrijp maken, moet voor ieder specifiek geval opnieuw worden ontworpen. Daarbij is de uitgangssituatie, inclusief de wijze waarop de aanliggende omgeving is ingericht, samen met het stedebouwkundig plan en het groenplan richting gevend. Het aantal variabelen is daarbij zo groot dat één rekenprocedure om tot een optimale afweging te komen, te gecompliceerd en te onoverzichtelijk zou worden. Wel is het mogelijk om uit het tot nu toe verrichte onderzoek een hanteerbare, stapsgewijze beschrijving te geven. De beschrijving geldt alleen voor de meest toegepaste combinaties van bodemverbetering en afwatering en houdt geen rekening met vele specifieke oplossingen, die soms beter kunnen worden toegepast en die in de voorgaan-

de hoofdstukken ook zijn omschreven. Bij dit laatste wordt gedacht aan toepassing van verticale drainage, ophoging met lichte materialen en dergelijke.

Wordt de keuze beperkt tot het al of niet integraal ophogen, het al of niet verlagen van het polderpeil of het stuwpeil en het al of niet draineren, dan kan een stapsgewijze analyse worden gevolgd. Deze analyse is in feite een vereenvoudiging van het proces dat in de werkelijkheid wordt toegepast bij de keuze van de beste methode van bouwrijp maken. Daarbij gaat het dikwijls om een cyclisch keuzeproces. Een maatregel wordt gekozen, bijvoorbeeld voor verlaging van de grondwaterstand. Vervolgens wordt daarbij de wijze van ophogen en afwateren gekozen. Daarna wordt weer bezien of de eerst gekozen maatregel voor verlaging van de grondwaterstand nog wel de meest geëigende is, enz.
Bij de hierna omschreven stapsgewijze analyse is de eerste vraag die aan de orde komt of de bestaande ontwateringsdiepte voldoende is en, indien deze te gering is, of polderpeilverlaging dan wel stuwpeilverlaging kan worden toegepast. Verlaging van het open waterpeil is over het algemeen een relatief goedkope maatregel. De gebieden zijn nu ingedeeld in gebieden met voldoende laag open-waterpeil (**1**), gebieden waar het waterpeil eenvoudig op voldoende diepte is te brengen (**2**) en gebieden met een te hoog waterpeil, dat moeilijk is te verlagen (**3**).

De volgende indeling die gemaakt wordt, is die met betrekking tot de begaanbaarheid. De bodemgesteldheid kan zodanig zijn dat geen maatregelen ter verbetering getroffen behoeven te worden (**a**) of dat met partiële ophoging volstaan kan worden (**b**). Ook kan het gehele terrein moeten worden opgehoogd (**c**).

Tenslotte moet bepaald worden of de grondwaterstand in een gebied, nadat de geëigende maatregelen voor het open-waterpeil en de grondverbetering zijn genomen, voldoende diep is (α) of op voldoende diepte gebracht moet worden door middel van draineren (β).
De combinaties van de bovengenoemde maatregelen **1.a.α** tot **3.c.β** geven de methoden van bouwrijp maken weer.

1.a.α : . voldoende diep open-waterpeil.
. voldoende begaanbaar.
. voldoende diepe grondwaterstand.

Voorkomen : Hoge en middelhoge zandgronden in het oosten en zuiden van Nederland.

Maatregelen: . In de wegcunetten de zwarte grond vervangen door schoon cunetzand.
. Open water naar eisen van riolering en stedebouwkundig ontwerp aanleggen.
. Open watergangen soms voorzien van een waterdichte bodem.
. In geval van een te dun humeus dek moet zwarte grond worden aangebracht.

1.a.β : . voldoende diep open-waterpeil.
. voldoende begaanbaar.
. grondwater te hoog.

Voorkomen : Leemhoudende hoge en middelhoge zandgronden met slechte doorlatendheid in het oosten en zuiden van Nederland.

Maatregelen: . Cunetten, open watergangen en tuingrond als **1.a.α**.
. Draineren.

1.b.α : • voldoende diep open-waterpeil.
• matige of slechte begaanbaarheid.
• voldoende diepe grondwaterstand.

Voorkomen : Hoger gelegen zavelige oeverwallen en diep ontwaterde zavelige en kleiige polders in West-, Midden- en Noord-Nederland.

Maatregelen: • Zandcunetten onder wegen en paden en zand in de kruipruimten.
• Gedeeltelijke ontgraving en ophoging met grond zodat gesloten grondbalans ontstaat.
• Open water aanleggen naar eisen van riolering en stedebouwkundig ontwerp.

1.b.β : • voldoende diep open-waterpeil.
• matige of slechte begaanbaarheid.
• te hoge grondwaterstand.

Voorkomen : Hoger gelegen slecht doorlatende, zavelige oeverwallen en diep ontwaterde, slecht doorlatende zavelige en kleiige polders in West- en Noord-Nederland.

Maatregelen: • Zandcunetten onder wegen en paden en zand in de kruipruimten.
• Gedeeltelijke ontgraving en ophogen met grond zodat gesloten grondbalans ontstaat.
• Draineren.
• Open water aanleggen naar eisen van riolering, drainage en stedebouwkundig ontwerp.

1.c.α : • voldoende diep open-waterpeil.
• begaanbaarheid slecht.
• voldoende diepe grondwaterstand.

Voorkomen : Goed ontwaterde kleipolders in West- en Noord-Nederland. In de praktijk komt deze situatie slechts voor bij zeer kleine bouwprojecten. Bij grotere projecten zal het terrein toch worden opgehoogd door middel van integrale ophoging, waardoor er altijd hoge grondwaterstanden ontstaan.

Maatregelen: • Gehele terrein ophogen met zand.
• Om zetting te versnellen soms maatregelen nemen.
• Ter plaatse van tuinen en openbaar groen zwarte grond opbrengen en vermengen met opgebracht zand.
• Open water naar eisen van riolering en stedebouwkundig ontwerp aanleggen.

1.c.β : • voldoende diep open-waterpeil.
• begaanbaarheid slecht.
• grondwater te hoog.

Voorkomen : Slecht ontwaterde kleipolders in West- en Noord-Nederland.

Maatregelen: • Gehele terrein ophogen met zand.
• Om zetting te versnellen soms maatregelen nemen.
• Ter plaatse van tuinen en openbaar groen zwarte grond opbrengen en vermengen met opgebracht zand.
• Draineren.
• Open water naar eisen van riolering en stedebouwkundig ontwerp aanleggen.

2.a.α : • te ondiep waterpeil, peilverlaging mogelijk.
• goede begaanbaarheid.
• voldoende doorlatende grond.

Voorkomen : Onvoldoende diep ontwaterde, goed doorlatende zandige poldergronden in West- en Noord-Nederland en laag gelegen zandgronden in het oosten en zuiden van Nederland. De voldoende diepe grondwaterstand wordt verwezenlijkt als het waterpeil voldoende diep wordt gemaakt.

Maatregelen: • Verdieping van het open-waterpeil, verlaging van het afmalingspeil, eventueel door plaatsing van een nieuw gemaal of door verlaging van de stuwhoogte.
• Open watergangen, singels en grachten, tot voldoende diepte naar eisen van riolering, beheersing grondwater en stedebouwkundig ontwerp aanleggen.
• Ter plaatse van tuinen en plantsoenen moet zonodig zwarte grond aangebracht worden.
• In de wegcunetten de zwarte grond vervangen door schoon cunetzand.

2.a.β : • te ondiep waterpeil, peilverlaging mogelijk.
• goede begaanbaarheid.
• matig tot slecht doorlatende grond.

Voorkomen : Ondiep ontwaterde, matig tot slecht doorlatende zandige poldergronden in West- en Noord-Nederland en laag gelegen matig tot slecht doorlatende zandgronden in het oosten en zuiden van Nederland.

Maatregelen: • Verdieping van het open-waterpeil door verlaging van het afmaalpeil, eventueel door plaatsing van een nieuw gemaal of door verlaging van de stuwhoogte.
• Open watergangen, singels en grachten tot voldoende diepte naar eisen van riolering, drainage en stedebouwkundig ontwerp aanleggen.
• Aanbrengen van een drainagesysteem, zowel voor de bouw- als voor de woonfase.
• Ter plaatse van tuinen en openbaar groen moet zonodig zwarte grond aangebracht worden.
• In de wegcunetten de zwarte grond vervangen door schoon cunetzand.

2.b.α : • te ondiep waterpeil, peilverlaging mogelijk.
• begaanbaarheid matig tot slecht.
• voldoende diepe grondwaterstand.

Voorkomen : Onvoldoende diep ontwaterde zavel- en kleipolders in West- en Noord-Nederland en beekdalgronden met leemafzettingen in de bovengrond in het oosten en zuiden van Nederland.

Maatregelen: • Verdieping van het open-waterpeil door verlaging van het afmaalpeil, eventueel door plaatsing van een nieuw gemaal of door verlaging van de stuwhoogte.
• Open watergangen, singels en grachten tot voldoende diepte naar eisen van riolering, beheersing grondwater en stedebouwkundig ontwerp aanleggen.
• Graven van cunetten onder wegen en paden en graven van kruipruimten, opvullen met zand; gesloten grondbalans.

2.b.β : • te ondiep waterpeil, peilverlaging mogelijk.
• begaanbaarheid matig tot slecht.
• te hoge grondwaterstand.

Voorkomen : Onvoldoende diep ontwaterde zavel- en kleigronden met een slechte doorlatendheid in de bovengrond in het westen en noorden van Nederland en beekdalgronden met leemafzettingen in de bovengrond in het oosten en zuiden van Nederland.

Maatregelen: • Verdieping van het open-waterpeil door verlaging van het afmaalpeil, eventueel door plaatsing van een nieuw gemaal of door verlaging van de stuwhoogte.
• Open watergangen, singels en grachten tot voldoende diepte naar eisen van riolering, drainage en stedebouwkundig ontwerp aanleggen.
• Graven van cunetten onder wegen en paden en graven van kruipruimten, opvullen met zand; gesloten grondbalans.
• Draineren.

2.c.α : • te ondiep waterpeil, peilverlaging mogelijk.
• begaanbaarheid slecht.
• grondwater voldoende diep.

Voorkomen : Slecht ontwaterde klei- en veengronden in West- en Noord-Nederland. In de praktijk komt deze situatie vrijwel niet voor.

Maatregelen: • Gehele terrein ophogen met zand.
• Om zetting te versnellen soms maatregelen nemen.
• Ter plaatse van tuinen en openbaar groen zwarte grond opbrengen en vermengen met de ondergrond.
• Open-waterpeil zodanig verlagen, eventueel door bouw van een nieuw gemaal, dat het peil voldoende diep is na zetting.
• Graven van open watergangen, singels en grachten naar eisen van riolering, beheersing grondwater en stedebouwkundig ontwerp.

2.c.β : • te ondiep waterpeil, peilverlaging mogelijk.
• begaanbaarheid slecht.
• grondwater onvoldoende diep.

Voorkomen : Slecht ontwaterde klei- en veenpolders. Deze situatie komt in het westen en noorden van Nederland veel voor.

Maatregelen: • Gehele terrein ophogen met zand.
• Om zetting te versnellen veelal maatregelen nemen.
• Ter plaatse van tuinen en openbaar groen zwarte grond opbrengen en vermengen met de ondergrond.
• Open-waterpeil zodanig verlagen, eventueel door bouw van een nieuw gemaal, dat het peil voldoende diep is na zetting.
• Open watergangen, singels en grachten naar eisen van riolering, drainage en stedebouwkundig ontwerp aanleggen.
• Draineren.

3.a.α : • ondiep waterpeil dat niet verlaagd kan worden.
• goede begaanbaarheid.
• voldoende diepe grondwaterstand.

Voorkomen : Deze combinatie komt slechts in uitzonderlijke situaties voor.

Maatregelen: • Ophogen van het gebied met zand tot voldoende hoogte boven het openwaterpeil.
• Open watergangen, singels en grachten naar eisen van riolering, beheersing grondwater en stedebouwkundig ontwerp aanleggen.
• Ter plaatse van tuinen en openbaar groen aanbrengen van zwarte grond en vermengen met de ondergrond.

3.a.β : • ondiep waterpeil dat niet verlaagd kan worden.
• goede begaanbaarheid.
• onvoldoende diepe grondwaterstand.

Voorkomen : Deze combinatie komt niet veel voor. Een voorbeeld is een gebied met diepe kwel, zodat het ondiepe waterpeil moeilijk te verlagen is.

Maatregelen: • Ophogen van het gebied met zand tot voldoende hoogte boven het openwaterpeil.
• Open watergangen, singels en grachten naar eisen van riolering, drainage en stedebouwkundig ontwerp aanleggen.
• Ter plaatse van tuinen en openbaar groen aanbrengen van zwarte grond en vermengen met de ondergrond.
• Draineren.

3.b.α : • ondiep waterpeil, dat niet verlaagd kan worden.
• begaanbaarheid is matig tot slecht.
• voldoende diepe grondwaterstand.

en

3.b.β : • onvoldoende diepe grondwaterstand.

Voorkomen : Deze combinaties komen niet voor, omdat voor het ophogen van het terrein om een voldoende diep waterpeil te verkrijgen, altijd zand wordt gebruikt, dat met goed ontwateren voldoende begaanbaar is.

3.c.α : • ondiep waterpeil, dat niet verlaagd kan worden.
• begaanbaarheid is slecht.
• grondwater voldoende diep.

Voorkomen : In klei- en veenpolders in het westen en noorden van Nederland, waar het polderpeil niet kan of mag worden verlaagd en waar de ophoging, mede in verband met te verwachten inklinking, groot moet zijn, zodat de grondwaterstand door middel van open watergangen voldoende diep is te krijgen. Dit komt niet veel voor.

Maatregelen: • Ophogen van het gebied met zand totdat voldoende hoogte boven open waterpeil wordt verkregen na inklinking.
• Open watergangen, singels en grachten naar eisen van riolering, beheersing grondwater en stedebouwkundig ontwerp aanleggen.
• Ter plaatse van tuinen en openbaar groen zwarte grond aanbrengen en vermengen met de ondergrond.

3.c.β : • ondiep waterpeil, dat niet verlaagd kan worden.
• begaanbaarheid slecht.
• onvoldoende diepe grondwaterstand.

Voorkomen : In vele klei- en veenpolders in het westen en noorden van Nederland, waar het polderpeil niet kan of mag worden verlaagd. Meestal is de ophoging en de doorlatendheid van het opgespoten zand niet zo groot dat zonder drainage een oplossing kan worden verkregen.

Maatregelen: • Ophogen van het gebied met zand totdat voldoende hoogte boven open waterpeil wordt verkregen na inklinking.
• Open watergangen, singels en grachten naar eisen van riolering, drainage en stedebouwkundig ontwerp aanleggen.
• Ter plaatse van tuinen en openbaar groen zwarte grond aanbrengen en vermengen met de ondergrond.
• Aanbrengen van drainage.

10.2 Bouwrijp maken, onderzoek en ontwerp

Aan het bouwrijp maken van een terrein gaat een aantal stadia vooraf, die ieder om een eigen inbreng van het bouwrijp maken vraagt en daarmee van de kosten. In hoofdstuk 1 is reeds geconstateerd dat er tot nu toe, bij veel plannen, in een te laat stadium rekening wordt gehouden met de bodemgesteldheid en de waterhuishouding van een gebied.
In de planvorming kunnen verschillende fasen worden onderscheiden:
1. Het initiatief tot het maken van een woningbouwproject.
2. De opstelling van het programma van eisen.
3. De keuze van de plaats van uitbreiding.
4. Het ontwerp van het stedebouwkundig plan.
5. Het maken van de bestekken.
6. De werkvoorbereiding.
7. De uitvoering.
8. Het beheer en het onderhoud.

In elk van deze fasen moeten de bodemgesteldheid en de waterhuishouding in de planvorming een rol spelen, zij het dat de mate en de globaliteit per fase sterk verschillen. In verband hiermee is er in de verschillende fasen van de planvorming behoefte aan gegevens over de bodemgesteldheid en de waterhuishouding die verschillen in gedetailleerdheid. In vroege fasen van de planvorming kan worden volstaan met globale gegevens, die in Nederland vrijwel altijd in zekere mate voorhanden zijn en alleen apart behoeven te worden verzameld, gerangschikt en beperkt aangevuld. In latere fasen van de planvorming zal echter apart en gedetailleerd onderzoek naar de bodemgesteldheid en waterhuishouding noodzakelijk zijn.
Naast fasen van de planvorming van een stadsuitbreiding worden in de besluitvorming in Nederland een aantal plansoorten onderscheiden.
De belangrijkste plansoorten zijn de nationale studies en streekplannen, structuurplannen en bestemmingsplannen. In deze plansoorten worden de eerste 4 fasen van de planvorming doorlopen.
In de nationale studies en de streekplannen wordt het initiatief tot een stadsuitbreiding genomen, wordt het programma van eisen ervoor opgesteld en wordt een eerste globale plaatskeuze gedaan. Vooral voor deze keuze van de plaats van de stadsuitbreiding is het van het grootste belang dat terdege rekening wordt gehouden met de bodemgesteldheid en de waterhuishouding. In hoofdstuk 9 is uitvoerig ingegaan op de wijze waarop bij de keuze van de plaats van de stadsuitbreiding rekening kan worden gehouden met de bodemgesteldheid en de waterhuishouding. Door middel van het toepassen van de bodemgeschiktheidsmethoden is het mogelijk reeds in dit stadium er zorg voor te dragen dat de uiteindelijke kosten voor het bouwrijp maken zo laag mogelijk zijn. Redelijk veel van de gegevens over de bodemgesteldheid en de waterhuishouding, die hiervoor nodig zijn, zijn voor geheel Nederland voorhanden in bestaande kaarten en archieven van onder andere de Stichting voor Bodemkartering, de Rijks Geologische Dienst en Rijkswaterstaat. De benodigde en voorhanden zijnde gegevens zijn beschreven in de hoofdstukken 2 en 9.
In het structuurplan worden de eerste drie fasen van de planvorming nogmaals doorlopen, zij het dat op de verschillende onderdelen van de planvorming gedetailleerder wordt ingegaan. De infrastructuur in de vorm van de plaats van hoofdwegen wordt vastgelegd en van de woonwijken wordt de ligging bepaald. Hiervoor is het nodig dat de bodemgesteldheid en de waterhuishouding gedetailleerder worden bestudeerd dan voor een streekplan noodzakelijk is. In een structuurplan moet worden nagegaan welke alternatieven voor het bouwrijp maken van de terreinen in de verschillende plangebieden mogelijk zijn, wat hiervan de kosten zijn en wat de invloed ervan is op het stedebouwkundig plan. Naast de reeds aanwezige gegevens over de bodemgesteldheid

en de waterhuishouding zal het in de meeste gevallen noodzakelijk zijn aanvullende gegevens hiervoor te verzamelen. Uit de bestaande gegevens is in dit stadium van de planvorming wel uit te maken welke factor een grote invloed zal hebben op het bouwrijp maken van het betreffende gebied. Het kan bijvoorbeeld zijn dat grote problemen te verwachten zijn met de inklinking of met de peilbepaling.
In het bestemmingsplan worden de onderdelen van het stedebouwkundig plan uitgewerkt. Aangegeven wordt waar de woonbuurten worden gesitueerd, waar het centrum en de groen- en sportvoorzieningen komen. Een belangrijk deel van het ontwerp van het plan zal in deze fase worden vastgesteld. In hoofdstuk 9 is aangegeven hoe door middel van het gebruik van bodemgeschiktheidsmethoden systematisch kan worden aangegeven waar de verschillende onderdelen van het plan het best gesitueerd kunnen worden om tot zo laag mogelijke kosten voor de totale bouw van de woonwijk te komen. Te zamen met vormgevingsaspecten en bestaande infrastructurele voorzieningen zullen deze kosten de stedebouwkundige inrichting van de stadsuitbreiding bepalen. Hiervoor is nodig dat er een gedetailleerd inzicht bestaat in de wijze waarop de verschillende delen van de uitbreiding bouwrijp worden gemaakt. Al het bodemkundig en waterhuishoudkundig onderzoek, dat nodig is voor het bepalen van de wijze van bouwrijp maken moet daarom als eerste in deze fase van de planvorming worden uitgevoerd.
Alle bodemkundig en waterhuishoudkundig onderzoek dat tot de eindfase nodig is en niet direct gebonden is aan de plaats van deelbestemmingen, zoals de sonderingen voor concrete bouwwerken, moet in deze fase reeds worden verricht om er bij de planvorming al maximaal profijt van te trekken.

In de voorgaande hoofdstukken over de bodemgesteldheid en de waterhuishouding is omschreven welke eigenschappen van belang zijn voor het bouwrijp maken van terreinen.
In de hoofdstukken waarin de verschillende afzonderlijke maatregelen voor het bouwrijp maken zijn omschreven, is aangegeven in welke vorm en mate van gedetailleerdheid de verschillende bodemkundige en waterhuishoudkundige eigenschappen bekend moeten zijn, wil men deze maatregelen kunnen ontwerpen.

Bij het maken van de bestekken, de werkvoorbereiding en de uitvoering zullen alle gegevens, die over de bodemgesteldheid en de waterhuishouding zijn verzameld verder worden gebruikt. Vaak zal het noodzakelijk zijn om, vooral voor bijzondere bestemmingen, aanvullend onderzoek te verrichten dat speciaal op zo'n bestemming is gericht. Een voorbeeld hiervan is onderzoek naar de bodemvruchtbaarheid voor gronden die bestemd zijn voor sportvelden.

Jammer genoeg komt het in de praktijk niet veel voor dat, na het gereedkomen van een woonwijk, onderzoek wordt verricht naar de wijze waarop het bouwrijp maken is geregeld. Toch zal het voor een goed beheer en onderhoud van een woongebied noodzakelijk zijn om voldoende inzicht in bijvoorbeeld de ontwatering en afwatering te hebben. De bodemgesteldheid is in dit verband van groot belang in gebieden waar inklinking optreedt. De verschillende onderdelen van het bouwrijp gemaakte terrein vragen een verschillende frequentie van onderhoud. Zo zullen open watersystemen in de regel tweemaal per jaar moeten worden schoongemaakt, tenzij uit overwegingen van natuurbehoud bij het ontwerp extra afmetingen eraan zijn gegeven, zoals omschreven in hoofdstuk 7. Drainages zullen eenmaal per 5 jaar of in bijzondere omstandigheden eenmaal per 2 à 3 jaar moeten worden gereinigd, zoals in hoofdstuk 5 is beschreven. De inklinking zal tot gevolg kunnen hebben dat in de eerste jaren na het gereedkomen van een woonwijk, wegen, paden, trottoirs en dergelijken moeten worden opgehaald en herstraat. De gegevens over de bodemgesteldheid en de geologie, samen met de

gebruikte methode van bouwrijp maken, geven aan hoe vaak dit zal moeten gebeuren. In hoofdstuk 4 is beschreven hoe dit kan worden berekend.

Bij een juiste keuze van de methode van bouwrijp maken, een juiste uitvoering van de verschillende onderdelen van het bouwrijp maken en een geregeld onderhoud, zullen waterhuishouding en begaanbaarheid blijvend in orde zijn. Te veel inklinking, te hoge grondwaterstanden, te vochtige woningen en dergelijken kunnen in dat geval zeer beperkt, zo niet geheel, achterwege blijven.

10.3 Samenvatting

In de eerste 9 hoofdstukken zijn afzonderlijke maatregelen omschreven, die bij het bouwrijp maken van terreinen worden uitgevoerd. De maatregelen beïnvloeden elkaar sterk, zodat voor een bepaalde situatie een complex van maatregelen het beste is. Dit complex wordt 'methode van bouwrijp maken' genoemd. Voor verschillende bodemkundige en waterhuishoudkundige uitgangssituaties worden in dit hoofdstuk de methoden voor bouwrijp maken beschreven. In de verschillende stadia van de voorbereiding van een stedelijke ontwikkeling zijn gegevens over de bodemgesteldheid en de waterhuishouding nodig in verschillende mate van gedetailleerdheid. In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de afstemming van het onderzoek naar de bodemgesteldheid en de waterhuishouding in deze stadia van planvorming.

Begrippen

Omschrijving van enkele begrippen, die in dit boek worden gebruikt

1. Bouwrijp maken van terreinen
Bouwrijp maken van terreinen is enerzijds de kunde van het afstemmen van de ruimtelijke ligging van stedelijke bestemmingen op de bodemgesteldheid en waterhuishouding en anderzijds de techniek van het geschikt maken van de bodem en de waterhuishouding voor het ontwikkelen van deze stedelijke bestemmingen.

2. Bodemgeschiktheidsbeoordeling
In een bodemgeschiktheidsbeoordeling worden de bodemgesteldheid en waterhuishouding vergeleken met de aan een bouwterrein en woongebied te stellen eisen, aan de hand waarvan de benodigde maatregelen worden vastgesteld. De beoordeling heeft als doel om te komen tot een zodanige locatiekeuze en inrichting van stadsuitbreidingen, dat bij het gegeven programma van eisen minimale kosten ontstaan (par. 9.6).

3. Methode van bouwrijp maken
Een methode van bouwrijp maken is een complex van samenhangende maatregelen, die bij een bepaalde uitgangssituatie van bodemgesteldheid en waterhuishouding wordt uitgevoerd om een bouwterrein te maken (hoofdstuk 10).

4. Integraal ophogen
Integraal ophogen is het met een laag zand ophogen van het gehele bouwterrein, veelal door middel van opspuiten, ter verbetering van de draagkracht, begaanbaarheid en ontwatering (par. 4.4).

5. Partieel ophogen
Partieel ophogen is het met een laag zand ophogen van dat deel van het bouwterrein, dat gebruikt wordt voor bebouwing, ter verbetering van de draagkracht, begaanbaarheid en ontwatering (par. 4.2).

6. Cunettenmethode
De cunettenmethode is het aanbrengen van een zandbaan op die delen van het bouwterrein waar verharding wordt aangebracht, ter verbetering van de draagkracht, begaanbaarheid en ontwatering (par. 4.3).

7. Begaanbaarheid
Begaanbaarheid van een terrein is de mogelijkheid om een terrein te berijden of te betreden (par. 4.1).

8. Draagkracht
Draagkracht van een terrein is het vermogen van de grond om op de grond drukkende lasten op te vangen (par. 4.1).

9. Grondbalans
Met de grondbalans wordt berekend hoe het grond- en zandverzet op een bouwterrein kan worden geminimaliseerd bij gegeven uitgangspunten betreffende aanlegpeilen en dikten van de zandcunetten (par. 4.3).

10. Zandbalans
Met de zandbalans wordt berekend hoe het zandverzet op een bouwterrein met integrale ophoging kan worden geminimaliseerd bij gegeven uitgangspunten betreffende aanlegpeilen (par. 4.4).

11. Drooglegging
De drooglegging is de afstand tussen maaiveld en de hoogste (ontwerp-)grondwaterspiegel (par. 5.1).

12. Ontwateringsdiepte
De ontwateringsdiepte is de afstand tussen maaiveld en de hoogte van het open waterpeil (par. 5.1).

13. Ontwatering
Ontwatering is de afvoer van water van een terrein door de grond en eventueel door drains naar een stelsel van open waterlopen (par. 5.1).

14. Afwatering
Afwatering is de afvoer van water uit een gebied door de open waterlopen.

15. Bodemvocht
Bodemvocht is water dat zich in het bovenste deel van de bodem bevindt, boven de met water verzadigde zone.

16. Enkelvoudige gebiedsdrainage
Enkelvoudige gebiedsdrainage is een drainagesysteem waarbij drains, evenwijdig aan elkaar gelegen, lozen op een open water.

17. Samengestelde gebiedsdrainage
Samengestelde gebiedsdrainage is een drainagesysteem waarbij drains lozen, zowel via een afvoerdrain (hoofddrain) als rechtstreeks op open water.

18. Cunetdrainage
Cunetdrainage is drainage welke in langsrichting in het wegcunet (zandbaan) wordt aangebracht.

19. Kruiselingse gebiedsdrainage
Kruiselingse gebiedsdrainage is een drainagesysteem, waarbij twee enkelvoudige drainagesystemen loodrecht op elkaar worden gelegd, op geringe hoogte boven elkaar, met filtermateriaal tussen de drainreeksen.

20. Bouwblokdrainage of ringdrainage
Bouwblokdrainage of ringdrainage is een drainagesysteem, waarbij de drains rondom een gebouw worden gelegd, op geringe afstand uit de gevel.

21. Verticale drainage
Verticale drainage is een drainagesysteem ten behoeve van de afvoer van grondwater uit de bovenlaag door slecht doorlatende lagen heen naar dieper gelegen waterdoorlatende lagen.

22. Grondkosten
De grondkosten is het geheel aan kosten die gemaakt moeten worden om een terrein geschikt te maken als woongebied (par. 9.2).

23. Grondprijs
De grondprijs is het bedrag dat door de gebruiker van een kavel moet worden betaald om het betreffende terrein in eigendom te verkrijgen; òf het is het bedrag dat als uitgangspunt dient voor het vaststellen van de canon bij erfpacht. In Nederland is uitgangspunt dat de som van de grondprijzen in een plan, samen met eventuele subsidies, gelijk is aan de grondkosten (par. 9.2).

24. Eindwaarde-methode
De eindwaarde-methode is een berekeningsmethode, waarmee de grondprijzen in een plan worden bepaald, aan de hand van het programma voor woningbouw en niet-woningbouw en de grondkosten. Aan de hand van gegevens over de fasering van verwerving, uitvoering van bouw- en woonrijp maken en uitgifte van bouwgrond wordt de rentelast vastgesteld en worden te verwachten kosten- en opbrengstenstijgingen meegerekend (par. 9.3).

25. Bruine-boekje-methode
De bruine-boekje-methode is een berekeningsmethode, waarmee de grondprijzen in een plan worden bepaald, aan de hand van het programma voor woningbouw en niet-woningbouw en de grondkosten. Aan de hand van eenvoudige vuistregels wordt de rentelast vastgesteld (par. 9.3).

Literatuur

Bij hoofdstuk 1

1-1 Lambert, A. M., *The making of the Dutch Landscape; a historical geography of the Netherlands.* Seminar press. London, 1971.

1-2 Harten, J. D. H., *Historische geografie van Nederland.* 2e herziene uitgave. Geografisch Instituut Rijksuniversiteit. Utrecht, 1972.

1-3 Rottier, H. C. E. M., *Stedelijke structuren in historisch perspectief.* Hulst, 1974.

1-4 Beekman, A. A., *Nederland als polderland.* Zutphen, 1938.

1-5 Bloemers, J. H. F., L. P. Louwe Kooimans en H. Sarfatij, *Verleden land; archeologische opgravingen in Nederland.* Meulenhoff, Amsterdam, 1981.

1-6 Sarfatij, H., *Dordrecht; opgravingen in Hollands oudste stad.* Spiegel Historiael, 1972, p. 620–627, 659–667.

1-7 Petri, W. B., *Overheidsbemoeiing met de stedebouw tot aan de vrede van Munster.* Delft, 1913.

1-8 Cordfunke, E. H. P., *Alkmaar, van boerderij tot stad.* 2e druk. Alkmaar, 1973.

1-9 Visser, J. C., *Schoonhoven, de ruimtelijke ontwikkeling van een kleine stad in het rivierengebied gedurende de middeleeuwen.* Assen, 1964.

1-10 Van Ravensteijn, L. J. C. J., *Rotterdam in de negentiende eeuw.* Rotterdam, 1924.

1-11 Van der Vlis, D., *De bevolking van Kampen van het begin der vijftiende tot het begin der twintigste eeuw.* Overijsselsch regt en geschiedenis; verslagen en mededelingen 89e stuk. Zwolle, 1974.

1-12 Vroom, M. J., *Bodem en Bodemgebruik.* Stedebouw en Volkshuisvesting, extra nummer, augustus 1970.

1-13 Gemeente Rotterdam, *Rapport ter inzake het vraagstuk van de grondwaterstand te Rotterdam.* Rotterdam, 1919

1-14 Dienst Openbare Werken Amsterdam, *Amsterdam, stedebouwkundige ontwikkeling.* Amsterdam, 1974.

1-15 Kloosterhuis, J. L., *Zandafgravingen in het Gooi.* Boor en Spade, 1956, p. 126–130.

1-16 Research Instituut voor de Gebouwde Omgeving, *Funderingsverval.* Amsterdam, 1974.

1-17 Commissie bouwen op opgehoogden grond, *Rapport der Commissie ingesteld door Burgemeester en Wethouders van Amsterdam, ter bestudering van het vraagstuk van het bouwen al dan niet op opgehoogden grond.* Amsterdam, 1931.

1-18 Werkcommissie Westen des Lands, *De ontwikkeling van het westen des lands.* Rijksdienst voor het Nationale Plan. 's Gravenhage, 1958.

1-19 De Roo, H. en E. Schultz, *Drainage in stedelijke gebieden.* In: *Cultuur Technisch Tijdschrift 16* (1976/77) nr. 6, p. 242–247.

1-20 Commissie Riolering, *Rapport van de commissie riolering.* In: H_2O *5* (1972) nr. 10, p. 199–214, nr. 12. p. 240–260.

1-21 Koot, A. C. J., *Inzameling en transport van rioolwater.* Waltman, Delft, 1977.

1-22 Werkgroep inventarisatie verstedelijking en waterhuishouding, *Verslag van de Werkgroep.* Unie van Waterschappen. Den Haag, 1980.

1-23 Brussaard, W., *De spelregels van de ruimtelijke ordening.* R.P.D.-publikatie 74-3. Den Haag, 1974.

1-24 P.P.D.-Utrecht, *Bodemgeschiktheidsbeoordeling voor stedelijke gebieden in de provincie Utrecht.* Utrecht, 1975.

1-25 P.P.D.-Utrecht, *Samenvatting van een studie naar bouwlocatie in het centrale deel van de provincie Utrecht.* Utrecht, 1980.

1-26 P.P.D.-Noord-Holland, *Onderzoek kosten bouwlocaties in Noord-Kennemerland.* Interdienstelijke werkgroep voorbereiding herziening Streekplan Noord-Kennemerland. Haarlem, 1981.

1-27 Gemeente Rotterdam. *Procedure Bestemmingsplan.* Grondbedrijf, Rotterdam, 1981.

1-28 Gemeente Den Haag, *Checklist voor de planning.* Dienst van de Stadsontwikkeling. Den Haag, 1980.

1-29 Nationale Woningraad, *Ruimtelijke Ordening; analyse van een procesgang.* Overdruk uit de uitgave *Documentatie Woningbouwcorporaties.* Vuga BV, Den Haag z.j.

1-30 Brandes, E., *Stedebouwkundige inrichting nieuwbouwwijken.* Studierapport Rijks Planologische Dienst. Staatsuitgeverij, Den Haag, 1981.

1-31 Werkgroep Bodem en Planologie, *Bodem en Planologie; een studie over de betekenis van de bodemkartering voor niet-agrarisch bodemgebruik.* Stedebouw en Volkshuisvesting, extra nummer, augustus 1970.

1-32 R.P.D., *Bodem en Planologie.* R.P.D.-publikatie '71-3. Staatsuitgeverij, Den Haag, 1971.

1-33 Beekman, J., J. Poelstra, H. Poelstra, T. Uittenbogaard en K. v. d. Zouwe, *Energie en beheerskosten in de planologie.* Planologische Discussiedagen. Deel I p. 17 t/m 30. Delft, 1982.

Bij hoofdstuk 2

2-1 Steur, G. G. L. en W. Heijink, *Algemene begrippen en indelingen.* Stichting voor Bodemkartering. Wageningen, 1980.

2-2 Cultuurtechnische Dienst, *Veldcodering van grondsoorten,* 2e druk. Utrecht, 1967.

2-3 Rijks Geologische Dienst, *Classificatie van onverharde sedimenten, Beknopte versie.* Haarlem, 1977.

2-4 Wiegers, H., *S.C.W.-Classieficatie van Zand,* Mededeling 38. Stichting Studie-Centrum Wegenbouw. Arnhem, 1975.

2-5 Zagwijn, W. H. en C. J. van Staalduinen, *Toelichting bij geologische overzichtskaarten van Nederland.* Rijks Geologische Dienst. Haarlem, 1975.

2-6 Ente, P., J. C. F. M. Haans en M. Knibbe, *De bodem van Overijssel.* Stichting voor Bodemkartering. Wageningen, 1965.

2-7 Stichting voor Bodemkartering, *Toelichting bij kaartblad 32 Oost, Amersfoort.* Wageningen, 1965.

2-8 Adviesbureau Arnhem, *Bodemkundig-hydrologisch onderzoek ten behoeve van het bouwrijp maken van Tolberg-Roosendaal.* Arnhem, 1979.

2-9 Stichting voor Bodemkartering, *De bodem van Nederland.* Wageningen, 1965.

2-10 Stichting voor Bodemkartering, *Toelichting bij kaartblad 40 West, Arnhem.* Wageningen, 1975.

2-11 Adviesbureau Arnhem, *Bodemkundig-hydrologisch onderzoek ten behoeve van het bouwrijp maken van Rijkerswoerd en Overmaat-Arnhem.* Arnhem, 1976.

2-12 Laboratorium voor Grondmechanica, *Uitbreidingsplan Maaspoort.* Delft, 1973.

2-13 Projectbureau Zwolle-Zuid, *Advies bouwrijp maken voor het bestemmingsplan Zwolle-Zuid. Infraconsult-Oranjewoud.* Zwolle, 1973.

2-14 Grontmij, *Globaal bestemmingsplan Houten 1985. Gemeente Houten.* Houten, 1973.

2-15 Stichting voor Bodemkartering, *Toelichting bij kaartblad 51 Oost, Eindhoven.* Wageningen, 1981.

2-16 Oranjewoud, *Rapport inzake een bodemkundig-hydrologisch onderzoek Wiardaburen, Leeuwarden.* Heerenveen, 1980.

2-17 Riedé, P. A., *Ophogen van bouwterreinen; praktische toepassingen.* Voordracht 12 in de cursus Waterbeheersing van stedelijke gebieden en bouwrijp maken van terreinen. Delft, 1980.

Bij hoofdstuk 3

3-1 Van den Berg, J. A., *Enige aspecten van de afvoer-hydrologie van stedelijke gebieden.* In: H_2O, 7 (1974), nr. 23, p. 508–515.

3-2 Kraayenhoff van de Leur, D. A. en H. Prak, *Verstedelijking, industrie en zware zomerregens: een verkennende studie.* In: H_2O, 12 (1979), nr. 4, p. 75–81.

3-3 K.N.M.I., *Klimaatatlas van Nederland.* Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut. Staatsuitgeverij. Den Haag, 1972.

3-4 Van de Ven, F. H. M., *De maandelijke waterbalans van het meetgebied Pampus-Blokkershoek en de gevolgen voor de verblijftijd van het water in de grachten.* Werkdocument 1980-267 Abw. Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders. Lelystad, 1980.

3-5 Werkgroep Evaluatie Drainagesystemen, *Evaluatie drainage in stedelijke gebieden in de Flevopolders.* Conceptrapport. Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders. Lelystad, 1982.

3-6 Van Dijk, W., H. Hengeveld en A. Overwater, *Onderzoek naar de wijze van bouwrijp maken in twaalf plaatsen in Nederland. 2 dln.* Flevobericht 135. Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders. Lelystad, 1978.

3-7 Van den Herik, A. G. en M. T. Kooistra, *5-minuten regens.* Grontmij. De Bilt, 1973.

3-8 Koot, A. C. J., *Inzameling en transport van rioolwater.* Waltman. Delft, 1977.

3-9 Schultz, E., *Ontwerp open water-2, berekeningen.* Voordracht 4 in de cursus Waterbeheersing van stedelijke gebieden en bouwrijp maken van terreinen. Postdoktoraal Onderwijs in het Bouwen. T.H. Delft, Delft, 1981.

3-10 Buishand, T. A. en C. A. Velds, *Neerslag en verdamping. Het klimaat in Nederland 1.* Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut. De Bilt, 1980.

3-11 Van de Kerk, J., *Het waterschap in het beheer en het bestuur van de Nederlandse waterhuishouding.* In: F. J. Kranenburg (red.) *Waterschouw.* Kluwer. Deventer, 1977.

3-12 Rijkswaterstaat, *De waterhuishouding van Nederland,* Staatsuitgeverij. Den Haag, 1968.

3-13 Walker, W. E. en M. A. Veen, *Screening of Technical and Managerial Tactics.* Vol. II, A rand note N-1500/2-Neth. Rand Corporation. Santa Monica, 1981.

3-14 Beekman, A. A., *Nederland als polderland.* Zutphen, 1932.

3-15 Lambert, A., *The making of the Dutch landscape.* Seminar Press, London/New York, 1971.

3-16 Hengeveld, H., J. v. d. Kley en J. Luijendijk, *Effects of urbanization on water management in the western part of the Netherlands.* In: *IAHS-AISH Publ.*: No. 123, 1977, p. 500–513.

3-17 De Vries, J. J., *Inleiding tot de hydrologie van Nederland.* Ropodi. Amsterdam, 1976.

3-18 De Jager, A. W., *Waterbeheersing in hellende gebieden.* In: *Cultuurtechnische Verhandelingen.* Staatsuitgeverij. Den Haag, 1969, p.p. 297–323.

3-19 Werkgroep Watervoorziening Drenthe, *Water naar Drenthe.* Assen, 1979.

3-20 Werkgroep inventarisatie verstedelijking en waterhuishouding, *Verslag van de Werkgroep.* Unie van Waterschappen. Den Haag, 1980.

3-21 Schouten, P. H., *Verstedelijking en waterhuishouding, deel A.* Afstudeerproject Polderinrichting, T.H. Delft, 1981.

3-22 Dragt, J. S. J., *Waterschappen en verstedelijking.* In: H_2O, 10 (1977) nr. 17, p. 400–404.

Bij hoofdstuk 4

4-1 Van der Veen, C., E. Horvat, C. H. van Kooperen, *Grondmechanica met beginselen van funderingstechniek.* Waltman. Delft, 1981.

4-2 Van Weele, A. T., *Moderne funderingstechnieken.* Waltman. Delft, 1981.

4-3 Wartena, L., *Ontwatering van terreinen met stedelijke bebouwing en industrieterreinen.* In: *Geografisch Tijdschrift II*, nr. 2, 1968, p. 104–116.

4-4 Voortman, B. R., *Slibverontreinigingen in opgespoten terreinen in Lelystad.* Intern rapport nr. 225. Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders. Lelystad, 1971.

4-5 Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders, *Bouwrijp maken in de Flevopolders.* Lelystad, 1981.

4-6 Nieuwenhuis, J. D., *Zandkwaliteit en zandwinning in de wegenbouw.* Verslag jaarvergadering 1975. Stichting Studiecentrum Wegenbouw. Arnhem, 1975.

4-7 Rijkswaterstaat, *Eisen voor bouwstoffen in de wegenbouw.* Staatsuitgeverij. 's-Gravenhage, 1978.

4-8 Andreae, J. F. R., Hage, J. Ph., *Nat zand-4.* In: *Polytechnisch Tijdschrift*, ed. B., 29 (1974) nr. 21, p. 693–699.

4-9 Lubbink, P., *Afvalstoffen voor ophogingen in de wegenbouw.* In: *Toepassing van afvalstoffen in de wegenbouw.* Introductie tot het symposium op 2 oktober 1980. SCW. Arnhem, 1980.

4-10 Grontmij. *Grondkosten Classificatiesysteem.* Zeist, 1981.

4-11 D.H.V., *De Grondkostenindex.* Amersfoort, 1979.

4-12 Sturm, G., *Integraal ophogen of toepassing van de cunettenmethode; een afweging op basis van kostenverschillen en gerelateerd aan de stedebouwkundige aspecten.* Afstudeerscriptie Polderinrichting. Delft, 1982.

4-13 Van de Fliert, C., *Algemene technologische aspecten van (her)gebruik van afvalstoffen in samenhang met bestaande en nieuw te formuleren eisen en voorschriften.* Toepassing afvalstoffen in de wegenbouw; verslag van het symposium van 2 oktober 1980. SCW. Arnhem, 1981.

4-14 Adviesbureau Arnhem, *Het gebruik van de Shell pavement design manual in de praktijk.* Arnhem, 1982.

4-15 Van der Plas, J. J. en J. P. J. van der Heide, *Asfalt in wegen- en waterbouw.* Vereniging van Bitumineuze Werken, 4e druk. Breukelen, 1980.

4-16 Grontmij, *Alternatieve methoden tot bouwrijp maken en evaluatie van de voor- en nadelen voor Lelystad-zuid.* De Bilt, 1980.

4-17 Luyendijk, J., *Wonen op baggerspecie, deel 2.* Afstudeerproject Polderinrichting, T.H. Delft. Delft, 1975.

4-18 Termaat, R., *Het zettingsgedrag van een weglichaam.* In: *Polytechnisch Tijdschrift, B.ed.*, 31 (1976) nr. 9, p. 559–567.

4-19 Van den Elzen, L. W. A., *Versnelde consolidatie van slecht doorlatende, samendrukbare grond met colbonddrains.* In: *Polytechnisch Tijdschrift, B.ed.* 36 (1981) nr. 1, p. 33–41; 37 (1981) nr. 2, p. 78–84.

4-20 Kars, J., *De problematiek rond ontgrondingen en afvalstoffen.* In: *Civiele en Bouwkundige Techniek, techniek en wetenschap* 1 (1981) nr. 1, p. 10–13.

4-21 Van Grondelle, W. J., *Ontgrondingen. Reeks Natuur en Milieu, nr.* 11. Stichting Natuur en Milieu. Utrecht, 1978.

4-22 Henselmans, J. V., *Milieuaspecten van ontgrondingen, afvalverwerking en hergebruik.* Civiele en Bouwkundige Techniek. Misset. 1 (1981) nr 1, p. 33–36.

4-23 Dekker, J., *Toepassing van flugzand bij dijkverzwaringen.* In: *Polytechnisch Tijdschrift, ed. B.*, 31 (1976) nr. 6, p. 383–388.

4-24 Anon., *Studie 'woonplatformmethode'.* In: *Polytechnisch Tijdschrift, Bouwtechniek* 37 (1982) nr. 1, p. 35–36.

4-25 Nieuwenhuis, J. D., J. F. R. Andreae, *Nat zand-2.* In: *Polytechnisch Tijdschrift, ed. B.*, 29 (1974) nr. 13, p. 409–415.

4-26 Nieuwenhuis, J. D., M. Snijdelaar, *Nat zand-5.* In: *Polytechnisch Tijdschrift, ed. B.*, 30 (1975) nr. 4, p. 123–128.

4-27 Andreae, J. F. R., *Vergelijking diverse transportmiddelen.* Cursus opspuiten terreinen. Stichting Postdoktoraal Onderwijs in de Civiele Techniek, Delft, 1970.

4-28 Den Toom, J., G. H. Meijer, H. P. S. van Lohuizen, R. H. J. Kremer en J. F. R. Andreae, *Amsterdam haalt het zand van de zeebodem, twintig kilometer uit de kust.* In: *De Ingenieur* jrg. 81 (50), december 1969, p. A 807–817.

4-29 Grontmij, *Wonen en Bos; illustratie en perspectief.* De Bilt, 1967.

4-30 Andreae, J. F. R., *Nat zand-6 en 7.* In: *Polytechnisch Tijdschrift, ed. B.*, 32 (1977) nr. 10, p. 587–590 en nr. 11, 644–647.

4-31 Op den Velde, J., *Tracering persleidingen en inrichting stort.* Cursus opspuiten terreinen. Stichting Postdoktoraal Onderwijs in de Civiele Techniek, Delft, 1970.

4-32 Gemeentewerken Rotterdam, *Ophoging van het toekomstige woongebied Zevenkamp-Rotterdam.* Rotterdam, 1968.

4-33 De Roo, H., *Technische en economische aspecten van zand op bouwterreinen, in het bijzonder in de IJsselmeerpolders.*
RIJP-rapport 1977-19 Abw. Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders. Lelystad, 1977.

4-34 Hengeveld, H. en G. Sturm, *De afweging integraal ophogen of de cunettenmethode.* In: *Polytechnisch Tijdschrift Civiele Techniek.* 38 (1983) nr. 4, p. 22–27.

4-35 Ritmeester, M. W., *Arnhem aan de slag.* In: *Gemeentewerken*, 6 (1977) nr. 5, p. 96–107. (Volgens een mondelinge toelichting zijn de bedragen gebaseerd op een nacalculatie)

4-36 De Geer, L., *Kosten op de bouwplaats.* Voordracht 10 in de Postdoktorale Cursus Kostprijsbegeleiding Woningbouw. Delft, 1982.

4-37 Dufour, R., *De recreatieve stad*, Staatsuitgeverij, 's-Gravenhage, 1979.

Bij hoofdstuk 5

5-1 Werkgroep bouwrijp maken, *Bouwrijp maken in de Flevopolders*, RIJP-rapport 1981-1 Abw/Ad. Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders. Lelystad, 1981.

5-2 Van Dam, C. H. en J. Schotkamp, *Infiltratie in bestratingsoppervlakten.* Werkdocument 1980-267 Abw. Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders. Lelystad, 1980.

5-3 Bebelaar, J. P. en J. W. Bakker, *Infiltratie van regenwater door verschillende wegdekken in verband met de watervoorziening van straatbomen.* Nota 1247. Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding. Wageningen, 1981.

5-4 Varekamp, H. en M. J. Leupen, *Vochtige woningen en astma.* Instituut voor gezondheidstechniek – T.N.O. Werkrapport D-35. Delft, 1973.

5-5 Rijkaert, G., *Fast realising allergens from some organisms living in house dust.* Proefschrift. Amsterdam, 1978.

5-6 Stichting Studiecentrum Wegenbouw, *Ontwerpaspecten van wegdrainage.* Mededeling no. 36. Arnhem, 1974.

5-7 Stichting Studiecentrum Wegenbouw, *De winter van 1978–1979; vorst en dooischade.* Publikatie N. Verslag van een symposium 18 mei 1979, Arnhem, 1980.

5-8 Lubbink, P., *Gebruik van zand en afvalstoffen bij ophogingen en grondwerken.* In: *Toepassing van afvalstoffen in de wegenbouw.* Verslag van een S.C.W.-symposium 2 oktober 1980. Arnhem, 1981.

5-9 Werkgroep Evaluatie Drainagesystemen in stedelijke gebieden in de Flevopolders, *Concept rapport.* Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders. Lelystad, 1982.

5-10 De Roo, H., *Drainage van stedelijke gebieden en recreatieve gebieden in de IJsselmeerpolders; aanleg en onderhoud.* RIJP-rapport 1978-7 Abw. Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders. Lelystad, 1978.

5-11 Schultz, E. en R. H. J. Kremer, *Stedelijk grondwater; gebruik, hinder en beheer.* In: H_2O 10 (1977), nr. 17. p. 391–396.

5-12 Hoofdafdeling Civiele Werken, *Drainage in Lelystad.* Dienst Publieke Werken. Lelystad, 1981.

5-13 De Roo, H., *Kruiselings draineren.* Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders, Lelystad, 1976.

5-14 Hoofdafdeling Civiele Werken, *Alternatieven voor ringdrainage.* Dienst Publieke Werken. Lelystad, 1982.

5-15 Schultz, E., *Grondwaterbeheersing-2, drainagesystemen.* Voordracht 9 in de cursus Waterbeheersing van stedelijke gebieden en bouwrijp maken van terreinen. Postdoktoraal onderwijs in het Bouwen, T.H. Delft. Delft, 1980.

5-16 Van Loon, L. J. M., *Drainage in hellende gebieden.* Voordracht in de cursus Waterbeheersing van stedelijke gebieden en bouwrijp maken van terreinen. Postdoktoraal onderwijs in het Bouwen, T.H. Delft. Delft, 1981.

5-17 De Jager, A. W., *Hoge afvoeren van enige Nederlandse stroomgebieden.* Verslagen van landbouwkundige onderzoekingen. Pudoc, Wageningen, 1965.

5-18 Adviesbureau Arnhem, *Grondtechnische voorbereiding van bouwterreinen.* Bulletin nr. 2-160, Arnhem, 1971.

5-19 Donnan, W. W., *Model tests of a tile spacing formula.* In: *Proc. Soil Sci. Soc. of Am.* 11 (1946) p. 131–136.

5-20 Hooghoudt, S. B., *Bijdragen tot de kennis van enige natuurlijke grootheden van den grond.* Verslagen landbouwkundig onderzoek no. 46 (14) B. Den Haag, 1940.

5-21 Boumans, J. H., *Een algemene monografische oplossing van het stationaire ontwateringsvraagstuk met toepassing van isotroop en anisotroop doorlatende gronden.* In: *Polytechnisch Tijdschrift* 18 (1963) nr. 14B, p. 545–551.

5-22 Reijnders, R., *Een methode voor het berekenen van drainagesystemen bij gebouwen.* In: *Polytechnisch Tijdschrift* 26 (1971) nr. 17 p. 679–681.

5-23 Ernst, L. F., *Grondwaterstroming in de verzadigde zone en hun berekening bij aanwezigheid van horizontale evenwijdige open leidingen.* Verslagen landbouwkundig onderzoek nr. 67-15. Wageningen, 1962.

5-24 Pette, D. en J. H. van Ouwerkerk, *De dimensionering van een drainagesysteem voor de ontwatering onder een voor neerslag ondoorlatend horizontaal vlak in één laag.* Koninklijke Nederlandse Heidemij. Arnhem, 1969.

5-25 Wesseling, J., *Stromingsweerstanden in plastiek drainbuizen.* I.C.W.-nota 293. Wageningen, 1965.

5-26 Zuidema, F. C. en J. Scholten, *De afvoercapaciteit van geribbelde plastieken drainbuizen.* Van zee tot land no. 49. Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders. Lelystad, 1971.

5-27 Dekker, K. en G. A. Ven, *De afvoercapaciteit van drainbuizen en de invloed op het drainageontwerp.* Cultuurtechnisch Tijdschrift, 22 (1982) nr. 1, p. 38–47.

5-28 Stichting Bouwresearch, *Kruipruimten.* Brochure B 2-20. Rotterdam, 1983.

Bij hoofdstuk 6

6-1 Van den Herik, A. G. en M. T. Kooistra, *5 minuten regens.* Grontmij. De Bilt, 1973.

6-2 Commissie Riolering en Waterverontreiniging, *Rapport van de commissie riolering en waterverontreiniging.* In: H_2O 5 (1972) nr. 10, p. 199–214 en nr. 12, p. 240–260.

6-3 Van de Berg, J. A. en G. A. Ven, *Kwantitatieve aspecten van de afvoer van regenwater in stedelijke gebieden.* In: H_2O 10 (1977), nr. 9, p. 200–203.

6-4 Wanielista, M. P., *Stormwatermanagement; quantity and quality.* Ann Arbor Science. Ann Arbor U.S.A., 1978.

6-5 Van de Berg, J. A., *Enige aspecten van de afvoerhydrologie van stedelijke gebieden.* In: H_2O 7 (1974), nr. 23, p. 508–515.

6-6 Van Dijk, W., H. Hengeveld en A. Overwater, *Onderzoek naar de wijze van bouwrijp maken in twaalf plaatsen in Nederland.* Flevobericht 135, Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders. Lelystad, 1978.

6-7 Hengeveld, H., J. Luijendijk en J. v.d. Kley, *Effects of urbanization on watermanagement in the western part of the Netherlands.* In: *Proc. of the Amsterdam symposium,* IAHS-AISH publication 1977, p. 500–513.

6-8 Van Dort, J. A., *Waterbeheersing in stedelijke gebieden.* In: *Polytechnisch Tijdschrift* 29 (1974, nr. 16, p. 511–519.

6-9 Ministerie van Verkeer en Waterstaat, *Indicatief meerjaren programma ter bestrijding van de waterverontreiniging 1980–1984.* 's-Gravenhage, 1981.

6-10 Schultz, E., *Ontwerp open water; berekeningen.* Voordracht 5 in de cursus Waterbeheersing van stedelijke gebieden en bouwrijp maken van terreinen. Postdoktoraal Onderwijs in het Bouwen. Delft, 1980.

6-11 Werkgroep Afvoerberekeningen. *Richtlijnen voor de berekening van afwateringsstelsels in landelijke gebieden.* 1979.

6-12 Koot, A. C. J., *Inzameling en transport van rioolwater.* Waltman. Delft, 1977.

6-13 Veldkamp, F. B., *Riolering en waterverontreiniging; probleemstellende nota.* Stora. 1975.

6-14 Van de Ven, F. H. M., *Maatgevende neerslag; maatgevende inloop.* In: H_2O 16 (1983), nr. 3, p. 62–63.

6-15 Luijendijk, J. en W. A. Segeren, *Waterbeheersing landelijke gebieden.* Collegedictaat polderinrichting. Technische Hogeschool Delft. Delft, 1981.

6-16 De Vries, A. H., *Toepassingen van niet-stationaire afvoermodellen.* Voordracht 6 in de cursus Waterbeheersing van stedelijke gebieden en bouwrijp maken van terreinen. Postdoktoraal Onderwijs in het Bouwen. Delft, 1980.

6-17 Hengeveld, H. en P. H. Schouten, *Verstedelijking en waterhuishouding in Poldergebieden.* In: *Polytechnisch Tijdschrift* 37 (1982) nr. 4, p. 21–25.

6-18 Werkgroep Waterlopen, *Richtlijnen voor het ontwerpen van open waterlopen en van sommige bijbehorende kunstwerken.* Van Gorcum. Assen, 1958.

6-19 Gemeentewerken Rotterdam, *Waterhuishouding bestemmingsplan Beverwaard.* Rotterdam, 1983.
In verband met de voorbeeldfunctie is het gebruikte plan niet identiek met het rapport van Rotterdam.

6-20 Wiggers, J. B. M., K. Bakker, J. W. Leunk, *De beoordeling van rioolstelsels ten aanzien van vuillozingen.* In: H_2O 19 (1977), nr. 19, p. 439–444.

6-21 Wiggers, J. B. M., K. Bakker, J. W. Leunk, *De beoordeling van rioolstelsels; vuillozingen en kostenaspecten.* In: H_2O 10 (1977), nr. 20, p. 460–464.

6-22 Van Dam, C. H., F. H. M. van de Ven, E. J. B. Uunk en J. D. Heynis, *Kwaliteits- en kostenaspecten van de rioolstelselkeuze; ervaringen in Flevoland.* In: H_2O 14 (1981), nr. 24, p. 571–576.

6-23 Hogendoorn, A. S., A. Lodder, J. de Man en E. J. B. Uunk, *Problematiek bij de keuze van een rioolstelsel voor Almere-Buiten: ontwerp en waterkwaliteitsaspecten.* In: H_2O 14 (1981), nr. 24, p. 577–583.

6-24 Hoogendoorn-Roozemond, A. S., *Riolering en waterkwaliteit.* Voordracht R-6b in de cursus Riolering. Postakademiale Vorming Gezondheidstechniek. Delft, 1980.

6-25 Berg, J. A., J. de Jong en E. Schultz, *Some qualitative and quantitative aspects of surface-water in an Urban area with separate stormwater and waste water sewer-systems.* IAHS publ. no. 123. Amsterdam, 1977.

6-26 Wensveen, L. D. M., *Stedelijk open water ontwerpen op basis van de waterkwaliteit.* 2 delen. Afstudeerproject Polderinrichting. Delft, 1978.

6-27 Eggink, H. J. en J. E. Hulshof, *Het verontreinigend vermogen van overstortend rioolwater in relatie tot de overstortingsfrequentie.* In: H_2O 1 (1968) nr. 8, p. 166–171.

6-28 Huiswaard, P. J., *Relaties tussen rioleringsoverstorten en effluentlozingen.* In: H_2O 7 (1974) nr. 8, p. 145–153.

6-29 Van den Herik, A. G., R. Lageveen en W. J. P. Worst, *Vuillozingen op oppervlaktewater.* In: H_2O 13 (1980) nr. 23, p. 530–535.

6-30 Fair, C. M., J. E. Geyer en D. A. Okun, *Water and Wastewater Engineering.* Vol. 2 Wiley and Sons, New York, 1968.

6-31 Grontmij, *Alternatieven voor bergbezinkbassins.* Gemeente Houten, 1982.

6-32 Heynis, J. D., J. de Man, H. de Roo en E. Schultz, *Ontwatering en afwatering van stedelijke gebieden; Normen en Kostenaspecten.* RIJP-rapport 1977-1 Bcd/Bdw. Lelystad, 1977.

6-33 Wethmar, H. K., J. Kuik en H. J. Laumans, *De infrastructuur in Almere-Haven; onderlinge samenhangen.* Intern RIJP-rapport nr. 348. Lelystad, 1974.

6-34 Brantz, Ch. Th., C. E. M. de Vrede, *Stadsuitbreiding van Purmerend; technische uitwerking-waterbeheersing.* Afstudeerproject Polderinrichting. Delft, 1979.

6-35 Berends, J., *De visie vanuit de stedebouwkundige integratie op het ontwerp van water in de stad.* Voordracht 5 in de cursus Water in de Stad. Postdoktoraal Onderwijs in het Bouwen, T.H. Delft. Delft, 1980.

6-36 Grontmij, *Wonen en Bos; illusie of perspectief.* De Bilt, 1967.

6-37 Dufour, *De recreatieve stad.* Staatsuitgeverij, Den Haag, 1979.

6-38 Stuurgroep Haagse Beemden, *Ontwerp structuurplan Haagse Beemden, planbeschrijving. Gemeente Breda.* Breda, 1975.

6-39 Maas, F. M., *Het plan Haagse Beemden bij Breda.* Voordracht 18 in de cursus Water in de Stad. Postdoktoraal Onderwijs in het Bouwen, T.H. Delft. Delft, 1980.

6-40 Van Grondelle, W. J., *Ontgrondingen; over de noodzaak van en de mogelijkheden voor een ander beleid t.a.v. de winning van mergel, grind, zand, klei, veen, enz.* Reeks Natuur en Milieu nr. 11, Stichting Natuur en Milieu. 's-Graveland, 1978.

6-41 Van Lohuizen, H. P. S., *Ophoogzand.* In: *Techniek en Wetenschap, editie Civiele en Bouwkundige Techniek*, 1. p. 29–32.

6-42 Heida, H., *Voorwoord.* In: K. Everards, *Biologische, chemische en fysische waarnemingen in de Sloterplas.* Gemeentelijk Centraal Milieulaboratorium, Amsterdam, 1978.

6-43 De Jong, T., *De invloed van diepe putten op de fosfaatbelasting van een meer.* Flevobericht nr. 200. Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders. Lelystad, 1982.

6-44 Bink, B. en G. A. de Jonge, *Verdrinking van kinderen.* In: *Tijdschrift voor Jeugdgezondheidszorg* 11 (1979) nr. 6, p. 82–86.

6-45 Vaandrager, G. J. en G. A. de Jonge, *Preventie van verdrinking van kleuters, een nieuwe CB-taak.* In: *Tijdschrift voor Jeugdgezondheidszorg* 12 (1980) nr. 5.

6-46 Güttinger, V. A. en H. Hengeveld, *Tewatergeraking van kleuters.* In: *Tijdschrift voor Jeugdgezondheidszorg* 13 (1981) nr. 6, p. 90–92.

Bij hoofdstuk 7

7-1 Van der Perk, J. C. en J. L. M. van der Voet, *Stedelijke recreatie.* WIRO-rapport 7. Lelystad, 1979.

7-2 Brandes, E., *Stedebouwkundige inrichting nieuwbouwwijken.* Studierapport Rijks Planologische Dienst. Staatsuitgeverij, 's-Gravenhage, 1981.

7-3 Ministerie van Volkshuisvesting en Ruimtelijke Ordening, *Naar een globaal ecologisch model voor de ruimtelijke ontwikkeling van Nederland.* Studierapporten Rijks Planologische Dienst no. 9. 's-Gravenhage, 1978.

7-4 Hengeveld, H. en C. de Vocht, *Role of Water in Urban Ecology.* Elsevier Publishing Company. Amsterdam, 1982.

7-5 Van Acht, W. N. M. en H. K. Hummel, *Natuur binnen stedelijke invloedssfeer; uitwerking voor Almere in Zuidelijk Flevoland.* Werkdocument 1982-270 Abw. Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders. Lelystad, 1982.

7-6 Ministerie van Cultuur, Recreatie en Maatschappelijk Werk, *Natuur in de stedelijke omgeving.* 's-Gravenhage, 1982.

7-7 Laurie, I. C., *Nature in cities.* John Wiley and Sons. Chichester, 1979.

7-8 Hondius, J. F., *De fictie van de groene stad.* In: *Plan* (1976) no. 10, pag. 7–20.

7-9 Foin, T. C., *Ecological systems and the environment.* Houghton Mifflin Co. Boston, 1976.

7-10 Hinkle jr., L. E. en W. C. Lohring, *The effect of the man made environment on health and behaviour.* Castle House Publication Ltd. London, 1975.

7-11 Van Swaay, L. en P. van Herpen, *Natuur- en groenbeleving in het stedelijk milieu.* Concepttekst. Lelystad, 1981.

7-12 Van Dam, J. G. C., *Bouwrijp maken en stedelijk groen.* Voordracht 13 in de Postdoktorale Cursus Waterbeheersing van stedelijke gebieden en bouwrijp maken van terreinen. Delft, 1980.

7-13 Reitema, P. E., *Soil moisture forecasting.* Instituut voor Cultuurtechniek. Wageningen, 1969.

7-14 Wind, G. P., *Capillary rise and some applications of the theory of moisture movement in the unsaturated soils.* Technical Bulletin 22, Instituut voor Cultuurtechniek. Wageningen, 1961.

7-15 Rijniersce, K., *Cultuurtechnische ingrepen ten behoeve van vegetatie in stedelijke gebieden.* Werkdocument 1979-93 Abw. Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders. Lelystad, 1979.

7-16 Mulkens, F. M. W., *Naar een natuurlijker milieu in stedelijke gebieden met behulp van opspuittechnieken.* Afstudeerproject Polderinrichting T.H. Delft. Werkdocument 1981-3 Abw. Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders. Lelystad, 1981.

7-17 Rijniersce, K., *Profielverbetering in stedelijke gebieden in de IJsselmeerpolders.* In: *Cultuurtechnisch Tijdschrift,* 19 (1980) no. 6, pag. 289–299.

7-18 Bakker, J. W., J. P. Couenberg en G. T. Visser, *Bodemverbetering rond straatbomen met zand-zwartveenmengsels.* In: *Groen* (1979) no. 35, pag. 229–231.

7-19 Bebelaar, J. P. en J. W. Bakker, *Infiltratie van regenwater door verschillende wegdekken in verband met de watervoorziening van straatbomen.* Nota 1247. Instituut voor Cultuurtechniek. Wageningen, 1981.

7-20 Van Acht, W. N. M., *Natuur in de stad.* In: *50 jaar onderzoek RIJP.* Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders. Lelystad, 1981.

7-21 Van Acht, W. N. M. en F. M. W. Mulkens, *Naar een natuurlijker milieu in stedelijke gebieden door opspuittechnieken.* In: *Polytechnisch Tijdschrift Civ. Techn.,* 38 (1983) nr. 2, pag. 13–18.

7-22 Smit, A., *De vegetatie in 1980 van een strook bos op opgespoten zand in het noordwesten van wijk I in Lelystad.* Werkdocument 1981-95 Abw. Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders. Lelystad, 1981.

7-23 Van Elburg, H., *De broedvogel van zandopspuitingen ten behoeve van wegen- en stedebouw in Flevoland.* Werkdocument 1979-104 Abw. Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders. Lelystad, 1979.

7-24 Loenen, M., *Natuur in de stad.* Werkdocument 1975-378 Bf Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders. Lelystad, 1975.

7-25 Smit, J. en J. L. M. van der Voet, *Gebruik en inrichting van watersportgebieden.* WIRO-rapport 11-1982. Lelystad, 1982.

7-26 Heidemaatschappij, *Technische normstelling begraafplaatsen.* Arnhem, 1972.

7-27 Grontmij, *Begraafplaatsen.* De Bilt, 1973.

Bij hoofdstuk 8

8-1 Gemeentewerken Rotterdam, *Problematiek betreffende uitgifte van woningen in samenhang met het tijdig woonrijp maken.* Interne notitie. Rotterdam, 1982.

8-2 Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders, *Rapport betreffende een onderzoek naar mogelijke aanpassing van ondergrondse leidingen aan stedebouwkundige ontwikkelingen.* Lelystad, 1974.

8-3 Dienst der Publieke Werken, *Schemaboekje kabels en leidingen ten behoeve van diensten en bedrijven.* Amsterdam, 1973.

8-4 Van Hoorn, C., *Leidingenstraten in Almere.* RIJP-rapport 1977-10 Ca, Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders. Lelystad 1977.

8-5 Hoven, J., *Evaluatie éénsleufmethode ten aanzien van de aanleg van elektriciteitskabels, waterleiding en gasleidingen.* Interne notitie NV Gamog. Zutphen, 1981.

8-6 KIVI, *Tunnels voor kabels en leidingen.* Werkgroep van de sectie voor tunneltechniek. Den Haag, 1980.

Bij hoofdstuk 9

9-1 Kruyt, B. en B. Needham, *Grondprijsvorming en grondprijspolitiek, theorie en praktijk.* Stenfert Kroese, Leiden, 1980.

9-2 Antheunisse, J. J. M., *Grondkostenexploitatie-opzet.* Voordracht 17 in de cursus Waterbeheersing van stedelijke gebieden en bouwrijp maken van terreinen. Infra consult. Deventer, 1981.

9-3 Ministerie van Volkshuisvesting en Ruimtelijke Ordening, *Grondkosten bestemmingsplannen.* Den Haag, 1970.

9-4 Ministerie van Volkshuisvesting en Ruimtelijke Ordening, *Grondkosten woningbouw.* Den Haag, 1968.

9-5 Werkgroep Ruimtebeslag, *Rapport van de werkgroep ruimtebeslag.* Rijnmond, Rotterdam, 1979.

9-6 Ministerie van Volkshuisvesting en Ruimtelijke Ordening, *Grondkostenberekening.* Circulaire MG 78-06. Zoetermeer, 1978.

9-7 Infra consult, *Eindwaardemethodiek grondkostenexploitatierekeningen.* Evaluatieonderzoek voor het Ministerie van Volkshuisvesting en Ruimtelijke Ordening. Deventer, 1983.

9-8 Ministerie van Volkshuisvesting en Ruimtelijke Ordening, *Grondexploitatierekening en eindwaardemethodiek.* Interimrapport van de interdepartementale commissie grondkostenberekening. Zoetermeer, 1978.

9-9 Ministerie van Volkshuisvesting en Ruimtelijke Ordening, *Eindrapport grondkosten.* Den Haag, 1973.

9-10 Provinciale Planologische Dienst Noord Brabant, *Het bestemmingsplan in de jaren '80; De beheersing van het ruimtegebruik en de grondkosten.* 's-Hertogenbosch, 1981.

9-11 De Graaf, B., *Financiële aspecten van het werken met globale- en uitwerkingsplannen.* Voordracht 5 in de cursus: Het globaal bestemmingsplan als planologisch instrument in stedelijke gebieden. Instituut voor Bouwrecht. Den Haag, 1982.

9-12 Hengeveld, H. en G. Sturm, *De afweging integraal ophogen of de cunettenmethode.* In: *Polytechnisch Tijdschrift Civiele Techniek,* 38 (1983) nr. 4, p. 22–27.

9-13 Renkema, A. G., J. Schoonebeek, B. L. Stassen, *Verkavelingskosten woongebieden.* Werkdocument 1975/360 Bf. Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders. Lelystad, 1975.

9-14 Meischke, J. C., *Rioolstelsels, vervuiling en kostenconsequenties.* In: *Gemeentewerken,* 8 (1979) nr. 11, p. 296–299.

9-15 Grontmij, *Grondkosten Classificatiesysteem.* Zeist, 1981.

9-16 Van Dam, C. H., F. H. M. van de Ven, E. J. B. Uunk en J. D. Heynis, *Kwaliteits- en kostenaspecten van de rioolstelselkeuze; ervaringen in Flevoland.* In: H_2O 1981 (14) nr. 24, p. 571–576.

9-17 De Waard, C., *Bodemgeschiktheidsbeoordeling voor stedelijke functies.* Afstudeerproject Polderinrichting, T.H.-Delft. Delft, 1979.

9-18 Directoraat Generaal van de Volkshuisvesting, *Circulaire MG 83-07.* Nederlandse Staatscourant 18 februari 1983 – nr. 35, p. 9.

9-19 Bureau omzetbelasting, *Heffing van omzetbelasting ten aanzien van de uitvoering van gemeentelijke bestemmings- en saneringsplannen, BTW-28.* Boekwerk CB-BTW. Ministerie van Financiën, 's-Gravenhage, 1980.

9-20 Infra consult, *Aanschrijving BTW-28, BTW ten aanzien van bestemmings- en saneringsplannen.* Deventer, 1983.

9-21 Hengeveld, H. en L. H. Kersemaekers, *BTW ten aanzien van bestemmings- en saneringsplannen.* In: *Bouw* 38 (1983) nr. 14/15, p. 23–24.

9-22 Klawer, M. A., *Grondkostenbewust ontwerpen.* Voordracht 6 in de cursus Kostenbeheersing in de woningbouw. Postdoktoraal Onderwijs in het Bouwen. Delft, 1982.

9-23 Brands-Poot, E. U., *Verkavelingskosten eengezinsrijen-huizen.* Provinciaal Planologische Dienst Zuid-Holland. 's-Gravenhage, 1970.

9-24 Oranjewoud-Stad en Landschap, *Wiardaburen; ontwerp bestemmingsplan.* Gemeente Leeuwarden. Leeuwarden, 1981.

9-25 Heidemij, *Bodemkundig-hydrologisch onderzoek ten behoeve van het bouwrijp maken van Tolberg, Roosendaal en Nispen.* Arnhem, 1979.

9-26 De Kievit, J. L., *Een classificatiesysteem voor een bodemgeschiktheidsbeoordeling van gronden voor een bepaalde vorm van bodemgebruik.* In: *De Ingenieur, ed. B en W,* 82 (1970) nr. 45, p. B159–B168.

9-27 Grontmij, *Landschapsonderzoek. 3e Werkrapport: Bodemgeschiktheidsbeoordeling.* Kring Muiden Utrecht. De Bilt, 1970.

9-28 Grontmij, *Bodemgeschiktheidsbeoordeling voor woningbouw. Stadsgewest Nijmegen.* De Bilt, 1972.

9-29 Ceelaert, C. H. R. M., *Bodemgeschiktheidsclassificatie ten behoeve van stedelijke bestemmingsplannen.* Praktijkverslag Adviesbureau Arnhem/Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders. Arnhem, 1974.

9-30 P.P.D.-Utrecht, *Bodemgeschiktheidsbeoordeling voor stedelijke gebieden in de provincie Utrecht.* Utrecht, 1975.

9-31 Bongers, M., G. v.d. Hoef en S. Verschuuren, *Afstudeerverslag Drempel Analyse.* Afdeling Bouwkunde en Civiele Techniek. T.H.-Delft. Delft, 1975.

9-32 Brandes, E., e.a., *Potential Surface Analysis en het Land Use Competition Model.* Stedebouwkundige Studiegroep. T.H.-Delft. Delft, 1977.

9-33 Buchanan and Partners, *Midden Randstad Study,* vol. V, Plan Area Models, 1978.

9-34 Beeren, H. Th. J. en J. R. Willet, *Bodemtechnisch onderzoek ten behoeve van de voorbereiding en realisering van bestemmingsplannen.* In: *Heidemij. Cult. Techn. Tijdschrift* 16 (1976) nr. 1, p. 23–37.

9-35 De Schrijver, A. J. M., *Stadsuitbreiding in een polder, deel 2: Het SITUP-systeem.* Afstudeerproject Polderinrichting. T.H.-Delft. Delft. 1975.

9-36 Heidemij, *Bodemkundig-hydrologisch onderzoek ten behoeve van het bouwrijp maken van Rijkerswoerd en Overmaat, Gemeente Arnhem.* Arnhem, 1976.

9-37 Heidemij, *Grondonderzoek ten behoeve van het bouwrijp maken van de Augustapolder, Gemeente Bergen op Zoom.* Arnhem, 1979.

9-38 Vries, O. M. en G. P. Keers, *Kosten van de overheid bij stadsvernieuwing en het bouwen van groeikernen.* Stichting voor Economisch Onderzoek der Universiteit van Amsterdam. Amsterdam, 1982.

9-39 Stichting voor Economisch Onderzoek, *Onderzoek naar het gemeentelijk grondprijsbeleid.* Amsterdam, 1980.

9-40 Heddema, T., *De integratie van onderhoudskosten in de planvorming van stedelijke uitbreidingen.* Afstudeerproject Polderinrichting. T.H.-Delft. Delft, 1982.

9-41 Beekman, J., J. Poelstra, H. Poelstra, T. Uittenbogaard, K. v.d. Zouwe, *Energie- en beheerskosten in de planologie.*

9-42 Idema, S., *De financiële aspecten van stadsuitbreiding en -inbreiding. Gemeente Delft.* Delft, 1980.

9-43 Romme, P. J. C., *Een andere aanpak. Gemeente Tilburg.* Tilburg, 1981.

9-44 Nederlands Economisch Instituut, *De investeringskosten van woonwijken op alternatieve locaties; de prijs van een woning.* Rotterdam, 1981.

9-45 Van Asperen, H. S., *Openbare groenvoorzieningen. Enkele beschouwingen over de relatie tussen het ontwerpen en het beheer van openbare groenvoorzieningen.* In: *Financieel overheidsbeheer* 1979, no. 7/8, p. 123–126.

Trefwoorden

A
aanpassingsdrainage 153
abiotisch 235, 238, 250
afvalwater 22, 76, 87, 189
afvloeiingscoëfficiënt 84, 180, 197
afvoer 31, 72, 73, 74, 76, 79, 83, 84, 179, 181
afvoerhydrogram 75
afvoerkunstwerken 185
afvoerpiek 76, 213
afwatering 23, 78, 141, 179

B
bakmodel 188, 192, 193
bedekkingsmateriaal 158
begaanbaarheid 30, 37, 40, 44, 51, 73, 100, 101, 103, 139, 148
begraafplaats 148, 235, 262
beheerskosten 38
beheer van stedelijke gebieden 97, 99
bemaling 62
beplanting 73
berging 31, 72, 73, 74, 84, 88, 93, 142, 180, 181, 182, 191, 196, 212, 215
berging op straat 84, 180
bergingsvijver 31, 75, 81, 185, 188, 205, 213, 214
bestemmingsplan 31, 32, 34, 35, 38
bestuurlijke organisatie 97
biotisch 238
bodemclassificatie 40
bodemgeschiktheid 36
bodemgeschiktheidsbeoordeling 34, 36, 38, 109, 303, 305, 309
bodemgeschiktheidskaart 34, 306
bodemgesteldheid 21, 22, 23, 26, 29, 31, 34, 36, 39, 40, 51, 53, 64, 241
bodemkaart 44, 51
bodemlucht 85, 241
bodemstructuur 41, 42, 43, 44, 45
bodemtype 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71
bodemverbetering 252, 253, 254, 255, 256
bodemvocht 73, 74, 85, 242
boezem 88, 179, 183
boezempeil 27
bouwblokdrainage 149, 155, 156, 157, 160, 173
bouwstraat 23, 100
bouwverordening 149
bronbemaling 52, 64, 146, 158
bruine-boekje-methode 283, 302
buitenwater 89, 90, 179, 183, 184

C
capillaire opstijging 86, 242, 246, 248, 249, 254
classificatiedriehoek 41
consolidatie 117
cunetdrainage 75, 154, 160
cunettenmethode 30, 55, 57, 64, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 103, 105, 109, 123, 131, 132, 133, 135, 138, 139
curve-number-methode 181

D
diepdrainage 30, 149, 158, 159, 165
diepe kwel 83
doorlatendheid 44, 45, 51, 52, 64, 67, 69, 116, 117, 158
doorlatendheidscoëfficiënt 45
draagkracht 40, 44, 100, 101
drainafstand 56, 62, 64, 115, 122, 144, 160
drainage 22, 23, 30, 56, 57, 58, 60, 67, 103, 115, 124, 132, 133, 149, 150, 284
drainage aanleg 69, 150, 151, 152
drainagecriterium 144, 148
drainagesysteem 30, 35, 141, 145, 149, 150, 151, 154, 159, 179, 255, 264
drainbuis 176
draindiameter 122, 174
draindiepte 144, 150, 155, 173
draineermachine 30, 151, 152, 173
drainhelling 173
drooglegging 116, 141, 149
drooglegginseisen 112, 114, 115, 146, 148
D.W.A.-riool 75, 191
dijkskwel 83

E
ecologie 238
eindwaarde-methode 283, 301
enkelvoudige gebiedsdrainage 149
esthetische functie 31, 73, 179
evapotranspiratie 75, 181, 247
equivalentdiepte 163, 164

F
filtermateriaal 157, 176
financieel-economische uitvoerbaarheid 281, 282
fundering 40, 52, 146, 156, 290

G
gemaal 23, 186
gemengd rioolstelsel 23, 75, 182, 189, 190, 191, 212
geologische kaart 44, 51
geologische opbouw 40, 45
gescheiden rioolstelsel 23, 189, 190, 191
gracht 36, 179, 197
grachtafstand 68, 197, 226
grachtpeil 89, 186, 226
gradiënt 240
groeimilieu 37, 40, 147, 235
groenstructuur 35
groenvoorziening 23, 235, 284, 290
grondbalans 67, 105, 106, 107, 253
grondexploitatierekening 281
grondgebruik 35, 135, 136, 137
grondkosten 31, 34, 38, 135, 136, 281, 282
grondmechanica 116, 117, 118, 119, 120, 121, 122, 123, 124
grondprijzen 281, 282, 298, 299
grondsoort 41, 42, 43
grondspanning 117, 118, 119, 121
grondverbetering 23, 102, 248, 249
grondverzet 35, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 112
grondwater 56, 58, 68, 72, 76, 85, 86, 89, 93, 96, 97, 122
grondwaterstand 30, 58, 62, 65, 68, 73, 76, 78, 85, 93, 94, 96, 100, 141, 149, 183, 248, 249, 250
grondwaterstroming 83, 85, 141, 142, 160
grondwerken 22, 23, 284

H
hellende gebieden 90, 96, 182, 184, 213, 215
hoofddrain 151, 152, 153
horizontale bronbemaling 30, 145, 149, 158
hydrologische cyclus 73, 74
hydrodynamische periode 122

I
infiltratie 75, 76, 84, 142, 180, 181
infiltratiecapaciteit 90, 142
infiltratievijver 31
inklinking 27, 88
inloophydrogram 75
integraal ophogen 29, 30, 35, 36, 51, 57, 58, 103, 105, 110, 113, 124, 131, 132, 133, 135, 138, 139
intreeweerstand 176

K
kabels en leidingen 22, 23, 52, 73, 135, 138, 146, 148, 156, 264
kavelkosten 37, 295, 297, 300, 302
korrelspanning 117, 119
kunstmatige lozing 179
kruipruimte 104, 105, 146, 147, 149
kwel 52, 56, 57, 61, 62, 73, 74, 83, 84, 93, 228

L
landschapsbeeld 36
leidingstraat 270, 277
leidingtunnel 278, 279
locatiekeuze 35

M
Manning 199, 214
methoden van bouwrijp maken 318
microklimaat 76
milieufactor 235, 238
5-minuten neerslag 81, 195

N
neerslag 44, 78, 79, 84, 90, 93, 183, 196
nat structuurplan 31, 35
natuur in de stad 235, 236, 237, 238, 239, 258, 259, 260, 261
neerslag-afvoer 72, 169, 179, 181, 191
niet-stationaire stroming 144, 160, 169, 189
niet-stationaire stromingsformule 160, 200
niet-stationaire stromingsmodellen 31, 201

O
oevervormen 234, 258, 259
onderhoudskosten 37, 73, 99, 123, 132, 133, 134
onderhoud van drainage 146, 149, 151, 156, 160, 175, 176, 177, 178
ondiepe drainage 150
ontgronding 34, 125
ontgrondingsbeleid 34, 38
ontwatering 22, 23, 34, 40, 78, 87, 88, 93, 94, 101, 102, 135, 138, 141, 252
ontwateringsbehoefte 30
ontwateringsdiepte 56, 67, 84, 105, 107, 114, 116, 121, 141, 159, 173
ontwateringsmaatregelen 135, 145
ontwateringsnormen 146, 147, 148, 149
ontwateringssystemen 149
ontwerp-neerslagintensiteit 80
onverzadigde zone 45, 85, 183, 246
open water 23, 31, 62, 72, 73, 75, 76, 80, 100, 103, 105, 135, 136, 145, 165, 179, 182, 183, 185, 186, 191, 215, 255
open wateroppervlak 211, 212, 213
ophogen, zandophoging, zandopspuiting 22, 23, 24, 25, 26, 30, 65, 69, 100, 101, 102, 103, 107, 119, 121, 123, 124, 131, 132
ophoogmateriaal 125, 126, 127
ophoogzand 103, 125, 128
oppervlakte afstroming 76, 90
oppervlakte water 89, 97, 101
opspuiten 65
opvriezen 103, 147

P
partieel ophogen 103, 139
peilfluctuatie 72, 187
peil grondwater 72, 85
peil open water 100, 186, 253
peilstijging 185
pF-curve 243, 244, 245, 249
plantsoen 105
poldergebied 88
polderland 87, 88, 89
polderstad 27
potentieel verdampingsoverschot 82
pvc ribbelbuis 150

R
radiale weerstand 168
recreatieve functie 31, 73, 128, 179, 218, 237
recreatieve voorziening 23
regenkromme 81
regenduurlijn 81, 183, 191, 196, 212
regenwater 22, 101
regenwaterriool 75, 150, 151, 190, 196, 197, 198, 226
renteberekening 123, 283, 285
reservoir coëfficiënt 169
retentiebekken 75, 226
ribbeldrain 30, 150
ringdrainage 155, 156, 157, 168, 169
riolering 22, 31, 62, 135, 284, 289
rioleringssysteem 23, 179, 189
rioolsleufdrainage 149
rioolstelsel 23, 31, 60, 72, 264
ruimtelijke ordening 29, 31, 33, 34

S
samendrukkingsconstante 45, 117
samengestelde gebiedsdrainage 151
singel 62, 179
speciewinning 125
stadsklimaat 235
stadsuitbreiding 21, 22, 26, 29, 34, 38
stadsvernieuwing 22, 34, 38
stadsverwarming 135
stationaire stromingsformule 144, 200
stedebouwkundig ontwerp 124
stedelijke drainage 30
stedelijk groen 30, 235
stedelijk hydrologisch systeem 183, 184
stedelijke waterbeheersing 30, 31
stedelijke waterhuishouding 72, 86
straatbomen 252, 254
straatmeubilair 23
straatpeil 62, 106, 107, 108
streekplan 32, 34, 35, 38
structuurplan 32, 35, 38
stuw 23, 90, 94, 185, 201

T
technische stuw 94, 96

V
veldcapaciteit 142, 182, 244
verdamping 74, 78, 79, 82, 83, 84, 85, 180
verdrinkingsgevaar 73, 233
verharde oppervlakken 31, 72, 76, 81, 83, 8· 179, 182
verharding 23, 35, 284, 289
verliezen 72, 75, 180, 181
versnelde afvoer 99, 179
verstedelijkingsnota 32, 34, 37
verstuiving 134
verticale bronbemaling 145
verticale drainage 122, 123, 124, 132, 133, 145, 157, 175
verwervingskosten 282, 300
vochtgehalte 74, 182, 248
vochthoudend vermogen 44, 45, 51
vochtspanning 85, 248
vormgeving van open water 229, 230, 231, 232, 233, 234
vuillozingsmodel 220

W
water 36, 85, 135
waterafvoer 97
waterbalans 79, 83, 179, 210, 214
waterbeheer 31, 97
waterbeheersing 24, 72, 73, 76, 81, 82, 84, 86, 89, 97, 125
waterberging 185, 187, 188, 210, 211, 212, 213, 214
waterbezwaar 191, 192
waterhuishouding 21, 22, 23, 26, 29, 31, 34, 35, 36, 38, 40, 53, 72, 86, 97, 99, 179, 187, 241, 252, 255, 287
waterkwaliteit 31, 37, 72, 73, 76, 97, 128, 179, 185, 187, 218, 220
wateroverlast 149
waterpeil 26, 27, 28, 29, 185, 186, 228
waterschap 31, 97, 99, 182
waterspanning 121, 122
waterstaat 86, 87
waterstaatkundige opbouw 86, 87
waterstaatkundige stuw 94, 96
woonrijp maken 21, 23, 132, 139, 264, 265

Z
zandfractie 41
zandmediaan 43
zandput 62, 107, 126, 128, 130
zandverzet 35, 107, 109, 110, 113, 135, 139
zandwinning 34, 68, 105, 126, 128
zandwinplas 128, 237
zetting 22, 37, 40, 45, 73, 107, 116, 119, 121, 123, 133
zettingsversnelling 121, 123, 124, 139, 141, 252
zuigdrains 151
zuigspanning 85, 86, 242, 243, 248

Nieuwe uitgaven van de Stichting Bouwresearch

* worden aangekondigd en in het kort besproken in het 2 à 3 maal per jaar verschijnend *speurbericht*, dat gratis aan belangstellenden wordt toegezonden en tevens een lijst van alle verkrijgbare uitgaven bevat;

* kunnen automatisch in uw bezit komen door een *abonnement* op de SBR-uitgaven.

Aanvragen om toezending van het speurbericht en inlichtingen over het abonnement bij
Stichting Bouwresearch
Postbus 20740
3001 JA ROTTERDAM
Telefoon 010 - 12 35 28