

---

# Een Oriëntatie op Maatregelen tegen Verdroging

1996-22



Nationaal Onderzoeksprogramma

**Verdroging**

BIBLIOTHEEK  
STARINGGEBOUW

Een Oriëntatie op Maatregelen  
tegen Verdroging

NOV - rapport 14

Ir. A.P. Bot, april 1996



26 SEP. 1996

## COLOFON

omslagontwerp: Beek Visser  
foto omslag: Ommoordse Veld, Rotterdam  
produktie: Koninklijke Vermande BV  
druk: 1996

### samenstelling begeleidingscommissie NOV 14

|             |                               |                              |
|-------------|-------------------------------|------------------------------|
| voorzitter: | drs. R.J. Eijsink             | Provincie Utrecht            |
| secretaris: | mw. M. Ambatzidellis          | Provincie Utrecht            |
| leden:      | dr. ir. P.J.T. van Bakel      | Tauw Civiel en Bouw bv       |
|             | F. Benning                    | Waterschap Meppelerdiep      |
|             | mw. ir. A.M. De Leeuw         |                              |
|             | (resp. ir. J.H. Wesseling)    | Waterloopkundig Laboratorium |
|             | ir. M.M.F. Dewachter          | Provincie Noord-Brabant      |
|             | ir. C. Griffioen              | Waterschap Salland           |
|             | ir. G.J. Hey                  | RIVM                         |
|             | ir. A.G. Kors                 | RIZA                         |
|             | ir. J. Mankor                 | Provincie Utrecht            |
|             | ir. J.A.H.M. Steenvoorden     |                              |
|             | (resp. dr. ing. E.P. Querner) | Staring Centrum              |
|             | ir. J.A.P. Vermulst           | RIZA                         |
|             | ir. L.R. Wentholt             | STOWA                        |

ISBN 90-369-45895

@ copyright STOWA, 1996

Niets uit deze uitgave mag worden vemenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotocopie, microfilm of op welke andere wijze ook, zonder uitdrukkelijke bronvermelding.

prijs: f 25,00

bestellingen: Hageman Verpakkers  
Postbus 281  
2700 AG Zoetermeer  
tel 079 3611188  
fax 079 3613927

## VOORWOORD

In januari 1995 heeft de STOWA opdracht gegeven voor het opzetten van een systematische oriëntatie op maatregelen tegen verdroging. Het project vormt een onderdeel van de STOWA bijdrage aan het Nationaal Onderzoekprogramma Verdroging en is uitgevoerd door A.P. Bot, raadgevend ingenieur te Rotterdam.

Vanwege de complexiteit van verdrogingsprojecten en de uiteenlopende disciplines die er een inbreng bij moeten leveren, bestond de behoefte aan een methode van globale aftasting van veelbelovende maatregelen en kosten. Deze aftasting zou vooral een rol moeten spelen in het begin van een project.

De ontwikkelde methode van oriëntatie is opgehangen aan een globale klassifikatie van (grond)watersituaties, in de vorm van een typologie van de oorspronkelijke situatie en een indeling naar de mate en wijze van verdroging. Met de aldus beschreven grondwatersituatie en verdrogingsoorzaak is het mogelijk een eerste schatting te maken van in aanmerking komende maatregelen.

De meest gangbare maatregelen tegen verdroging zijn in het rapport beschreven, samen met kostenindicaties.

Het onderzoek is uitgevoerd door Ir. A.P. Bot. In het beginstadium heeft de Wageningse student P.H. Verburg een enthousiast aandeel gehad in het opzetten van de methode.

Prof. Dr. Ir. W.H. van der Molen heeft waardevol commentaar op vroege rapportversies gegeven, met name ten aanzien van de gebiedstypologie. De tabellen van figuren 4.3 en 4.4 zijn opgezet door Ing. H. Kleijer van het Staring Centrum. Dank zij de medewerking van Drs. H. Runhaar van het CML is de aansluiting tussen NOV 9 (Herstel van verdroogde ecosystemen) en het voorliggend NOV 14 tot stand gekomen.

Namens de uitvoerders en de begeleidingscommissie spreek ik de hoop uit dat de ontwikkelde methode in de praktijk zal aanslaan en dat het verdrogingsherstel er mee gebaat is.

Drs. R.J. Eijnsink,  
Voorzitter Begeleidingscommissie  
NOV 13 en 14

# INHOUDSOPGAVE

|  |            |
|--|------------|
| SUMMARY .....  | i          |
| SAMENVATTING .....                                       | iii        |
| <b>1 INLEIDING .....</b>                                 | <b>1.1</b> |
| 1.1 Probleemstelling .....                               | 1.1        |
| 1.2 Werkwijze .....                                      | 1.1        |
| 1.3 Leeswijzer .....                                     | 1.3        |
| <b>2 NATUURHERSTEL .....</b>                             | <b>2.1</b> |
| 2.1 Aantasting en herstel .....                          | 2.1        |
| 2.2 Herstelwensen .....                                  | 2.3        |
| <b>3 HYDROLOGISCHE VERKENNING .....</b>                  | <b>3.1</b> |
| 3.1 Inleiding .....                                      | 3.1        |
| 3.2 In- en afstroming .....                              | 3.1        |
| 3.3 Ontwatering .....                                    | 3.9        |
| 3.4 Verlaging van de grondwaterstand elders .....        | 3.9        |
| 3.5 Permanente, diepe onttrekkingen .....                | 3.9        |
| 3.6 Ondiepe, tijdelijke onttrekkingen .....              | 3.12       |
| 3.7 Inlaat van water .....                               | 3.13       |
| <b>4 KLASSIFIKATIE VAN HYDROLOGISCHE SITUATIES .....</b> | <b>4.1</b> |
| 4.1 Inleiding .....                                      | 4.1        |
| 4.2 Typologie van de oorspronkelijke situatie .....      | 4.1        |
| 4.3 Aantastingen .....                                   | 4.11       |
| 4.4 Huidige situatie .....                               | 4.14       |
| <b>5 HYDROLOGISCHE MAATREGELEN .....</b>                 | <b>5.1</b> |
| 5.1 Inleiding .....                                      | 5.1        |
| 5.2 Conserveren van grondwater .....                     | 5.1        |
| 5.2.1 Opzetten van het peil .....                        | 5.1        |
| 5.2.2 Dichten van watergangen .....                      | 5.3        |
| 5.2.3 Vergroten van de weerstand van watergangen .....   | 5.3        |
| 5.2.4 Meandering .....                                   | 5.4        |
| 5.3 Conserveren van opkwellend grondwater .....          | 5.4        |
| 5.3.1 Begreppelen .....                                  | 5.4        |

|          |   |             |
|----------|---|-------------|
| 5.4      | Beperken van de afstroming naar de omgeving             | 5.5         |
| 5.4.1    | Inleiding   | 5.5         |
| 5.4.2    | Verhogen van het omgevingspeil                          | 5.5         |
| 5.4.3    | Beperken van beregening                                 | 5.7         |
| 5.4.4    | Instellen van een bufferzone                            | 5.7         |
| 5.4.5    | Terugpompen   | 5.8         |
| 5.4.6    | Aanbrengen van een scherm                               | 5.8         |
| 5.4.7    | Aanpassen van de vorm/grootte van het gebied            | 5.9         |
| 5.5      | Reductie van onttrekkingen                              | 5.9         |
| 5.5.1    | Reductie van permanente onttrekkingen                   | 5.9         |
| 5.5.2    | Kunstmatige infiltratie van water                       | 5.10        |
| 5.6      | Oppervlakkige aanvoer van water                         | 5.10        |
| 5.6.1    | Inlaat  | 5.10        |
| 5.6.2    | Inlaat van water met kwelkwaliteit                      | 5.11        |
| 5.7      | Vergroten van de berging (in het oppervlaktewater)      | 5.12        |
| 5.8      | Afgraven van het maaiveld                               | 5.13        |
| 5.9      | Grootschalige maatregelen                               | 5.13        |
| <b>6</b> | <b>SELECTIE VAN MAATREGELEN</b>                         | <b>6.1</b>  |
| 6.1      | Inleiding   | 6.1         |
| 6.2      | Maatregelen bij aantasting door diepere ontwatering     | 6.1         |
| 6.3      | Maatregelen in het geval van externe oorzaken           | 6.2         |
| 6.3.1    | Maatregelen bij aantasting door een lager omgevingspeil | 6.3         |
| 6.3.2    | Maatregelen bij aantasting van wegzijging en kwel       | 6.4         |
| 6.4      | Discussie   | 6.4         |
|          | <b>REFERENTIELIJST</b>                                  | <b>R.1</b>  |
|          | Bijlage 1: Globale kostenindicaties                     | <b>B1.1</b> |
|          | Bijlage 2: Verklarende woordenlijst                     | <b>B2.1</b> |

## SUMMARY

This report deals with the approximate selection of remedial measures for lowered ground water levels in nature conservation areas. The project has been part of the National Research Programme on Lowered Groundwater Levels (NOV). The project has been funded by the Waterboard Research Center STOWA and has been carried out by A.P. Bot, ground water consultant in Rotterdam.

The most appropriate measure to be taken depends, of course, on the hydrological situation of the endangered site. This situation would normally, and should ultimately, be described in great detail, but an elaborate description such as is used for numerical modelling does not suit an approximate approach. Consequently, a simplified classification of hydrological situations had to be developed. This classification distinguishes between upward and downward seepage situations, while their reaction to changed ground water levels is also considered. Eleven "hydrological types" suffice to cover most Dutch situations.

Similarly, hydrological damage has then been described according to six stadia (degree of damage), with progressively lower ground water levels and ground water discharge to the drainage system.

The hydrological type and damage stadium together are indicative for a preliminary selection of remedial measures. The most commonly used and feasible measures have been listed, together with the conditions for their successful application and an indication of costs.

The hydrological type and damage stadium represent a simplified view of the real situation. Furthermore, no provision has been made for combinations of measures. The resulting method should be considered for preliminary purposes only. The method developed is suitable for use in the early stages of restoration projects, when looking for promising alternative solutions and when very approximate cost estimates are being made.





## SAMENVATTING

Het voorliggend rapport gaat over een globale voorselectie van maatregelen tegen verdroging. Het project is een onderdeel geweest van het Nationaal Onderzoekprogramma Verdroging (NOV) en is gefinancierd uit de bijdrage daaraan van de STOWA. Het project is uitgevoerd door A.P. Bot, raadgevend ingenieur op het gebied van water, grond en milieu te Rotterdam.

De keuze van maatregelen hangt uiteraard af van de situatie van het verdroogde gebied. Gewoonlijk zal die situatie gedetailleerd worden beschreven en uiteindelijk zal daar ook niet aan ontkomen kunnen worden. Een uitgebreide beschrijving - zoals bij voorbeeld nodig voor numerieke modellering - is echter te bewerkelijk voor een eerste globale benadering. Om die reden moest een eenvoudige klassifikatie van hydrologische situaties worden ontwikkeld. In de klassifikatie wordt onderscheid gemaakt naar wegzijgings- en kwelsituaties, terwijl de veranderingen in wegzijging en kwel bij gewijzigde grondwaterstand er ook bij zijn betrokken. Met elf "hydrologische gebiedstypen" bleek het mogelijk het merendeel van de Nederlandse situaties te beschrijven.

Op soortgelijke wijze is vervolgens de mate van verdroging beschreven aan de hand van zes stadia, met steeds lagere grondwaterstand en steeds minder afstroming naar het ontwateringsstelsel.

Het hydrologische gebiedstype en het aantastingsstadium bepalen in grote lijnen de voorselectie van maatregelen. De meest gangbare maatregelen tegen verdroging worden in het rapport beschreven, samen met de voorwaarden waaronder zij in aanmerking komen. Ook worden globale kostenindicaties vermeld.

Door vereenvoudiging van de complexe werkelijkheid, bij voorbeeld ten aanzien van de gebiedstypering en mate van verdroging, en omdat het niet mogelijk is om meerdere maatregelen in combinatie te beschouwen, dient de methode te worden gezien als een hulpmiddel voor een eerste verkenning. De werkwijze die in het rapport is ontwikkeld is waarschijnlijk het best te gebruiken in het beginstadium van een verdrogingsproject, als oriëntatie op maatregelen en globale kosten.



# 1 INLEIDING

## 1.1 Probleemstelling

Een onderzoek naar de optimale maatregelen tegen verdroging van een concreet gebied is een omvangrijk karwei. De toedracht van de achteruitgang van de natuurlijke vegetatie moet eerst achterhaald worden. Vervolgens moet de gewenste wijze van herstel van de (grond)watersituatie worden vastgesteld. De maatregelen waarmee die gewenste situatie efficiënt kan worden bereikt hangen sterk af van de hydrologische omstandigheden ter plaatse, zodat al gauw tot numerieke modellering moet worden overgegaan. Tenslotte - maar zeker niet in de laatste plaats - bestaan vanuit een veelheid van belangen allerlei voorkeuren en bezwaren tegen de verschillende maatregelen, al waren het alleen maar de kosten.

De inbreng van allerlei disciplines en belanghebbenden is onontbeerlijk: bestuurders, eigenaren, omwonenden, ecologen, hydrologen, kostencalculators en werkvoorbereiders. Verwacht wordt dat zij enigermate op de hoogte zijn van het gedachtengoed van de andere "spelers". Geen eenvoudige opgave.

Vanwege de geschetste complexiteit kost het de betrokkenen moeite "door de bomen het bos nog te zien". Daarnaast is het zinvol het traject tevoren eens globaal af te tasten, tot en met maatregelen en kostenraming. Een systematische methode daartoe bestaat echter niet; men is aangewezen op individuele kennis van breed geörienteerde deskundigen.

Het doel van het project was het opstellen van een systematische maar globale aftasting van de mogelijke maatregelen. De initiatiefnemers stond een soort beslisboom voor ogen, maar het was onduidelijk welke vorm die zou hebben en of een volledig uitgewerkte systematiek überhaupt haalbaar zou zijn. De methodiek zou geschikt moeten zijn voor gebruik door waterschappen, terreinbeheerders en adviesbureaus.

## 1.2 Werkwijze

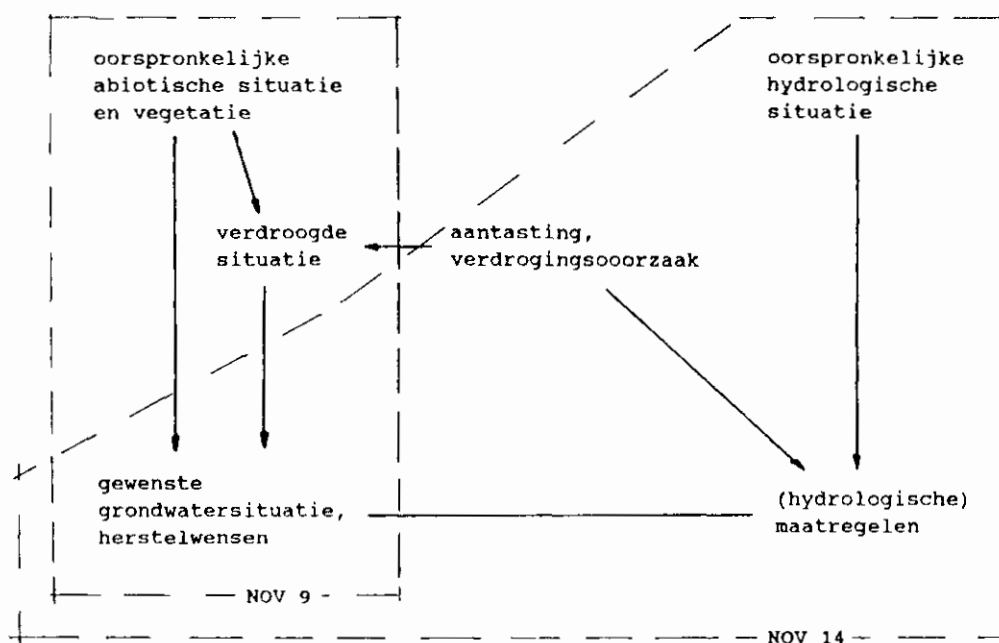
### Aansluiting bij NOV 9

Een zusterproject in het Nationaal Onderzoekprogramma Verdroging gaat over het herstel van natte en vochtige ecosystemen: NOV 9 [M. van der Linden et al, 1995]. In wezen wordt in de rapportage van dat project reeds een systematische opzet gepresenteerd van de gewenste (grond)watersituatie voor het gehele scala van verdroogde vegetaties. Daarvan is dankbaar gebruik gemaakt.

De verdeling tussen NOV 9 en 14 is misschien het eenvoudigst als volgt uit te leggen:

met hulp van NOV 9 wordt de gewenste (grond)watersituatie geval bepaald;

met NOV 14 kan vervolgens worden afgetast met welke maatregelen die situatie kan worden bereikt.



Figuur 1.1: systematiek van de werkwijze

De systematiek van de werkwijze is in schema weergegeven in figuur 1.1. Het linkerdeel van de figuur, met de gestippelde omlijning "NOV 9", gaat over het identificeren van de oorspronkelijke vegetatie en de veranderingen in de standplaatsfactoren die tot de verdroging hebben geleid. Oorspronkelijke vegetatie en aantasting tezamen definiëren de gewenste (grond)watersituatie. De herstelwensen zijn daarvan afgeleid en komen overeen met gewenste veranderingen in de standplaatscondities.

De herstelwensen (waarvan er 6 onafhankelijke bestaan) vormen de aansluiting tussen de methodiek van NOV 9 en NOV 14. De lijst, zoals gepresenteerd in hoofdstuk 2, is in overleg met de uitvoerders van NOV 9 tot stand gekomen.

## Systematiek van NOV 14

Schematisch is de systematiek weergegeven in het rechterdeel van figuur 1.1, met de gestippelde omlijning "NOV 14". De keuze van maatregelen hangt af van de gevraagde herstelwens(en), van de oorspronkelijke hydrologische situatie en van de wijze van aantasting.

Het beschrijven van de oorspronkelijke hydrologische situatie en van de aantasting moest uiteraard gebaseerd zijn op een beperkt aantal (maar dan de meest significante) gebiedskenmerken. Toen bleek dat die kenmerken in werkelijkheid alleen in een beperkt aantal combinaties voorkwamen, kwam de weg vrij voor een klassifikatie of typologie van grondwatersituaties. In het rapport zijn die "gebiedstypen" zo beschreven dat zij vrij eenvoudig door hydrologen en terreinbeheerders te herkennen zijn.

Ook van de aantasting is een klasseïndeling gemaakt. Deze bestaat uit een aantal stadia van steeds verder dalende grondwaterstand en verder afnemende afstroming naar het ontwateringsstelsel. Het aantastingsstadium zal in de praktijk vaak niet scherp bepaald kunnen worden, maar biedt voldoende houvast om de huidige situatie enigermate te kenschetsen.

Gebiedstype en aantasting tezamen bepalen de meest geeigende maatregel. De sleutel daartoe heeft in een aantal gevallen de vorm van een beslisboom.

De beschrijving van de aantasting hangt niet af van de verdrogingsoorzaak. Daarmee is voorkomen dat de remedie uitsluitend kon bestaan uit het wegnemen van de oorzaak. In de beslisboom komt die oorzaak weer voor, maar alleen als mogelijke remedie.

De keuze voor een globale methodiek heeft een aantal vereenvoudigingen meegebracht. De aard van het gebied en de oorzaak en mate van verdroging zijn als uniform beschouwd, terwijl in werkelijkheid meerdere deelgebieden te onderscheiden zullen zijn. Hetzelfde geldt voor de maatregelen. De gebruiker zal de uniforme bouwstenen met gezond verstand en fantasie moeten gebruiken in praktijksituaties. Verder is bij voorbeeld de gebiedsverdamping als onveranderlijk en de drainageweerstand als lineair beschouwd. Deze vereenvoudigingen beperken uiteraard de waarde van de uitkomst. Daar staat tegenover dat een handzame methodiek is ontstaan, bruikbaar voor een oriënterende verkenning.

### **1.3 Leeswijzer**

Hoofdstuk 2 bevat een zeer beknopte samenvatting van het Rapport van NOV 9, die uitmondt in de definitie van de herstelwensen.

In hoofdstuk 3 worden de vereenvoudigde hydrologische mechanismen uitgelegd, die aan de basis liggen van de typologie van hydrologische situaties. De typologie zelf, samen met de definitie van de aantastingsstadia, wordt in hoofdstuk 4 gepresenteerd.

In hoofdstuk 5 is een opsomming gepresenteerd van denkbare hydrologische maatregelen tegen verdroging. De maatregelen worden onderscheiden naar hun uitwerking, terwijl tevens de voorwaarden waaronder ze toepasbaar zijn worden vermeld. Tenslotte wordt in hoofdstuk 5 een globale orde van grootte van kosten gegeven voor de verschillende maatregelen.

In het laatste hoofdstuk 6 van het rapport wordt een eenvoudige beslisboom beschreven aan de hand waarvan maatregelen langs systematische weg kunnen worden geselecteerd.

In het rapport worden een aantal termen geïntroduceerd of op een specifieke manier gebruikt. Zij worden verklaard in de woordenlijst van bijlage 2. Herstelwensen, gebiedstypologie, aantastingsstadia en legenda van de beslisboom zijn tevens op een uitslaande laatste pagina afgedrukt.

## 2 NATUURHERSTEL

De herstelfuncties van het zusterproject NOV 9 kunnen worden uitgedrukt in een beperkt aantal herstelwensen. Die herstelwensen worden gepresenteerd in paragraaf 2.2, terwijl in paragraaf 2.1 een zeer beknopte samenvatting is gegeven van natuurherstel, zoals behandeld in NOV 9 [M. van der Linden et al., 1995].

### 2.1 Aantasting en herstel

Het Centrum voor Milieukunde te Leiden heeft een ecotopensysteem ontwikkeld, waarin de abiotische standplaats in hoofdzaak wordt onderscheiden naar de zogenaamde operationele standplaatsfactoren:

- \* vochttoestand
- \* voedselrijkdom
- \* zuurgraad

Deze factoren beschrijven de condities waaronder de verscheidene natuurlijke vegetaties kunnen gedijen. Wanneer een verschuiving in een of meer der factoren plaats vindt zal die vegetatie (op den duur) plaats maken voor een beter aangepaste.

De meer zeldzame en dus waardevolle vegetaties worden over het algemeen aangetroffen onder relatief natte, voedselarme en gebufferde (niet of slechts zwak zure) omstandigheden. De huidige bedreigingen veroorzaken een aantasting van zulke standplaatsen: verdroging, eutrofiëring en verzuring. Deze aantastingen kunnen zowel afzonderlijk als in samenhang voorkomen.

#### Verlaging van de grondwaterstand

Door daling van de grondwaterstand zal de vocht-voorziening afnemen. De ernst van de aantasting hangt af van de grondsoort. De verlaging van de grondwaterstand in het voorjaar is vaak bepalend voor het voorkomen van specifiek "natte" soorten, maar ook de zomergrondwaterstanden kunnen van invloed zijn op de samenstelling van de vegetatie. Overigens zijn de indirecte effecten van verlaging, zoals de hierna beschreven verzuring en vermesting, meestal van grotere invloed dan de verminderde vochtvoorziening.

De daling van de grondwaterstand gaat gepaard met een betere beluchting, met als gevolg verzuring door oxidatie van stikstofverbindingen. Ook kan verzuring optreden door uitspoeling

van zuurgraad-bufferende stoffen, omdat percolerend neerslagwater dieper indringt bij de lagere grondwaterstand.

De betere aëratie leidt tot toename van de mineralisatie van organische stof. Omdat de mineralisatie anderszijds langzamer verloopt door de mindere vochtvoorziening en de bovengenoemde verzuring is het eutrofiërende effect beperkt. Als de grondwaterstand later weer omhoog komt zal mineralisatie van ruwe humus echter op grotere schaal optreden, des te meer wanneer het zuurgraad-bufferend grondwater betreft. Op bodems met een hoog organisch gehalte is daarom herstel van de vroegere grondwaterstand alleen effectief wanneer tevens de half-gemineraliseerde toplaag wordt verwijderd. Dat kan gebeuren door afgraven of afplaggen.

Hoog- en laagvenen hebben een dermate hoog waterbergend vermogen dat zij onder permanent verzadigde omstandigheden bestaan. Het waterbergend vermogen wordt vernietigd (irreversibele indroging) bij daling van de (grond)waterstand. Herstel van alleen de waterstand is niet voldoende; tevens moet kunstmatig de waterberging worden verhoogd door het aanbrengen van een groot percentage open water. Bovendien moet half-gemineraliseerd organisch materiaal worden verwijderd zoals beschreven in de vorige alinea. Herstel van de oorspronkelijke standplaatscondities is vaak alleen mogelijk na vorming van nieuw veen.

#### Afname van de kwelstroom

Niet of slechts zwak zure omstandigheden zijn vaak tot stand gekomen door de zuurgraad-bufferende eigenschappen van opkwellend grondwater. Het ongebufferde neerslagwater heeft niet kunnen doordringen in de wortelzone van de vegetatie. Wanneer bij kwelafname de buffering wegvalt zal verzuring optreden.

Herstel kan worden bewerkstelligd door aanvoer van zuurgraad-gebufferd water, terwijl meestal tevens organisch materiaal verwijderd zal moeten worden - zie hierboven. Herstel van de oorspronkelijke kwel biedt de grootste kans op het gewenste resultaat. Met kunstmatige wateraanvoer kan de wortelzone niet voldoende bereikt worden vanwege de geringe indringing vanuit de watergangen. Wellicht biedt periodieke inundatie met gebufferd oppervlaktewater in een aantal gevallen een oplossing.

Van belang is dat neerslagwater niet langer de kans krijgt in de wortelzone te percoleren. De neerslag moet daartoe zeer ondiep worden afgevoerd door middel van bijvoorbeeld greppels.

#### Verlaging van het peil van het oppervlaktewater

Tezamen met een verlaging van de grondwaterstand kan ook een verlaging van het oppervlaktewaterpeil teweeg zijn gebracht. Watergangen kunnen bij voorbeeld (gedurende een



deel van het jaar) droog zijn gevallen. Herstel betekent het opnieuw (permanent) watervoerend maken van de watergangen.

Door het droogvallen van de watergang heeft meestal mineralisatie van organisch materiaal (in het bodemsediment) plaatsgevonden. Naast herstel van het peil moet dan tevens het sediment en de resulterende verruigde vegetatie worden afgevoerd.

### Waterinlaat

Onder "verdroging" wordt ook begrepen de negatieve effecten van waterinlaat die ter compensatie van de lagere waterstanden werd uitgevoerd. Net als bij de terrestrische natuur geldt ook hier dat de achteruitgang meestal is voortgekomen uit een toename van voedselrijkdom. Inlaat van voedselrijk water is een voor de hand liggende oorzaak, maar de zogenaamde interne eutrofiëring levert vaak ook een belangrijk aandeel. Interne eutrofiëring vindt plaats als hard, bicarbonaatrijk water wordt ingelaten op plaatsen waar het oppervlaktewater van nature zacht en ongebufferd was. De afbraak van organisch bodemmateriaal wordt dan niet langer geremd waardoor eutrofiërende stoffen vrijkomen, vaak zelfs onder anaërobe omstandigheden.

Interne eutrofiëring komt ook voor wanneer een oorspronkelijk brak water door inlaat wordt verzoet. Het chloride hield oorspronkelijk de afbraak van organisch materiaal in toom.

In kwelgebieden met zuurgraad-gebufferd en ijzerhoudend kwelwater zal ook het oppervlaktewater daarmee gevoed zijn. Inlaat van water zal dan met eenzelfde type water moeten gebeuren.

Inlaat van water leidt ook tot een veranderd stroomregime. Droogvallende of nagenoeg stilstaande watergangen veranderen nabij het inlaatpunt in permanent watervoerende watergangen met aanmerkelijke stroomsnelheid.

Per saldo blijkt inlaat van water nog al eens een negatief effect op de natuurwaarde te hebben. Dalende grond- en oppervlaktewaterpeilen zijn ongewenst, maar in een aantal gevallen te verkiezen boven inlaat van verkeerd water.

## **2.2 Herstelwensen**

Uit de aard van de aantastingen, herstelprocessen en de gewenste (grond)watersituatie, zoals samenvattend beschreven in de voorgaande paragrafen, volgen de volgende mogelijke herstelwensen:

Terrestrische herstelwensen

- A. Hogere grondwaterstand in het voorjaar.
- B. Lager fluctuatietraject (verschil tussen GVG en GLG).
- C. Zuurgraad-bufferend water in de wortelzone.
  - 1. Kwel weer naar maaiveld.
  - 2. Inundatie met schoon, hard oppervlaktewater
- D. Verschraling van de bodem.

Aquatische herstelwensen

- E. Watergangen watervoerend met
  - 1. niet verontreinigd, voedselarm zacht water.
  - 2. niet verontreinigd, voedselarm/matig voedsel-rijk hard water.
  - 3. niet verontreinigd, matig voedselrijk brak water.
- F. Verschraling van de waterbodem.

Herstelwensen D en F zijn "intern" van aard: deze wensen leiden direct tot maatregelen (afgraven respectievelijk baggeren) zonder dat de effectiviteit afhankelijk is van de ligging en omgeving van het terrein. Op de wensen D en F wordt daarom verder niet ingegaan.

Zoals al gezegd: de natuurhersteller kan met deze lijst zijn wensen aangeven. Soms zal hij een combinatie van wensen aankruisen. Het is ook mogelijk dat hij nog een "second best" alternatief achter de hand heeft, dat in aanmerking komt als het "voorkeursherstel" moeilijk uitvoerbaar blijkt te zijn.

De volgende hoofdstukken gaan verder in op de maatregelen waarmee in de herstelwensen A, B en C kan worden voorzien. Zijdelings zal hier en daar ook aandacht worden besteed aan de aquatische herstelwens E, voornamelijk omdat terrestrisch en aquatisch herstel soms tezamen zullen worden aangepakt. Bovendien zijn er maatregelen die op beide compartimenten hun uitwerking hebben.

## 3 HYDROLOGISCHE VERKENNING

### 3.1 Inleiding

De meest geschikte maatregel tegen verdroging hangt af "van de situatie" waarin het verdroogde gebied zich bevindt. Omdat het in het voorliggend verhaal gaat om een globale voorselectie van maatregelen behoeft die "situatie" niet in al zijn detaillering beschreven te worden. In hoofdstuk 4 wordt een indeling van situaties gepresenteerd, in de vorm van een typologie.

In het huidige hoofdstuk 3 wordt de basis gelegd voor de systematiek van die typologie. De systematiek is samenhangend en logisch, maar vertegenwoordigt slechts een globale weergave van de hydrologische processen. In de hier volgende uiteenzetting viel niet te ontkomen aan stukken fundamentele uitleg vanwege een aantal nieuw geïntroduceerde begrippen en verbanden. In bijlage 2 van dit rapport is een verklarende woordenlijst opgenomen.

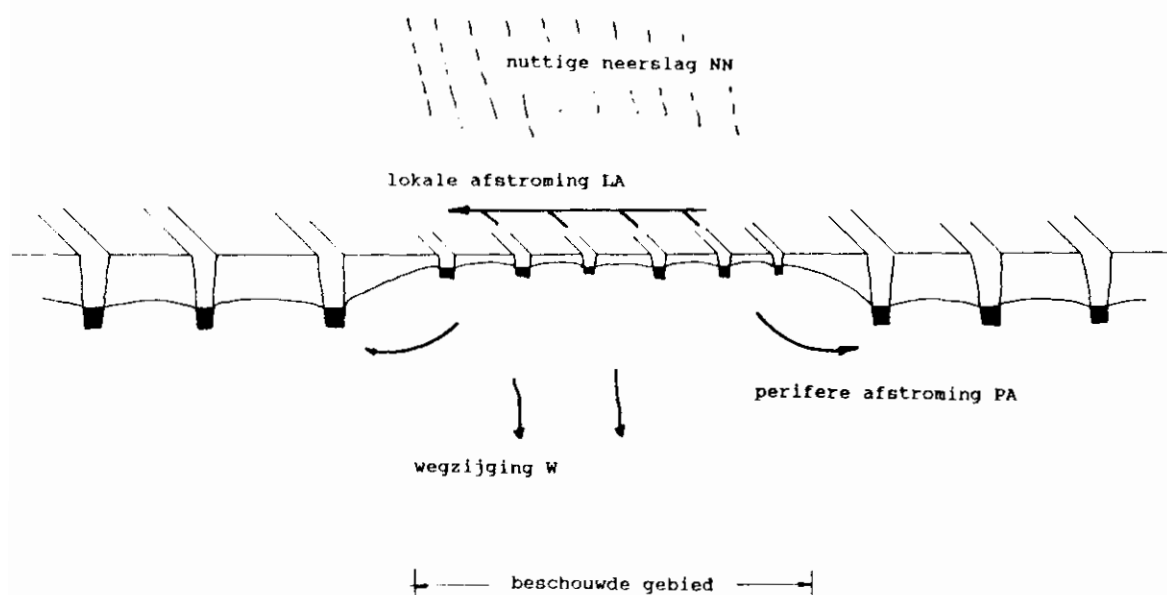
De hydrologische verkenning wordt beschreven aan de hand van een beperkt aantal kenmerken:

- \* systeemweerstand;
- \* systeemverval;
- \* doorlaatvermogen van de bovenste grondlagen;
- \* drainageweerstand;
- \* lokale drainagebasis.
- \* waterbalanstermen;
- \* grondwaterstand(sfluctuaties), Gt;

### 3.2 In- en afstroming

De nuttige neerslag (neerslag minus verdamping) stroomt af op een veelvoud van manieren naar verschillende ontwateringsmiddelen. Voor de huidige hydrologische verkenning zal de afstroming tot 3 manieren geschematiseerd worden (zie ook figuur 3.1):

- a. wegzijging naar grotere diepte via het grondwatersysteem (in een kwelgebied is de kwel uiteraard een instromingscomponent).
- b. "perifere" afstroming van grondwater naar aanliggende gebieden met een lager peil, aan de hand van de omtrek van het terrein en de doorlatendheid van de ondergrond.
- c. lokale afstroming naar het plaatselijke ontwateringsstelsel, aan de hand van de gelineariseerde drainageweerstand.



Figuur 3.1: Afstromingscomponenten

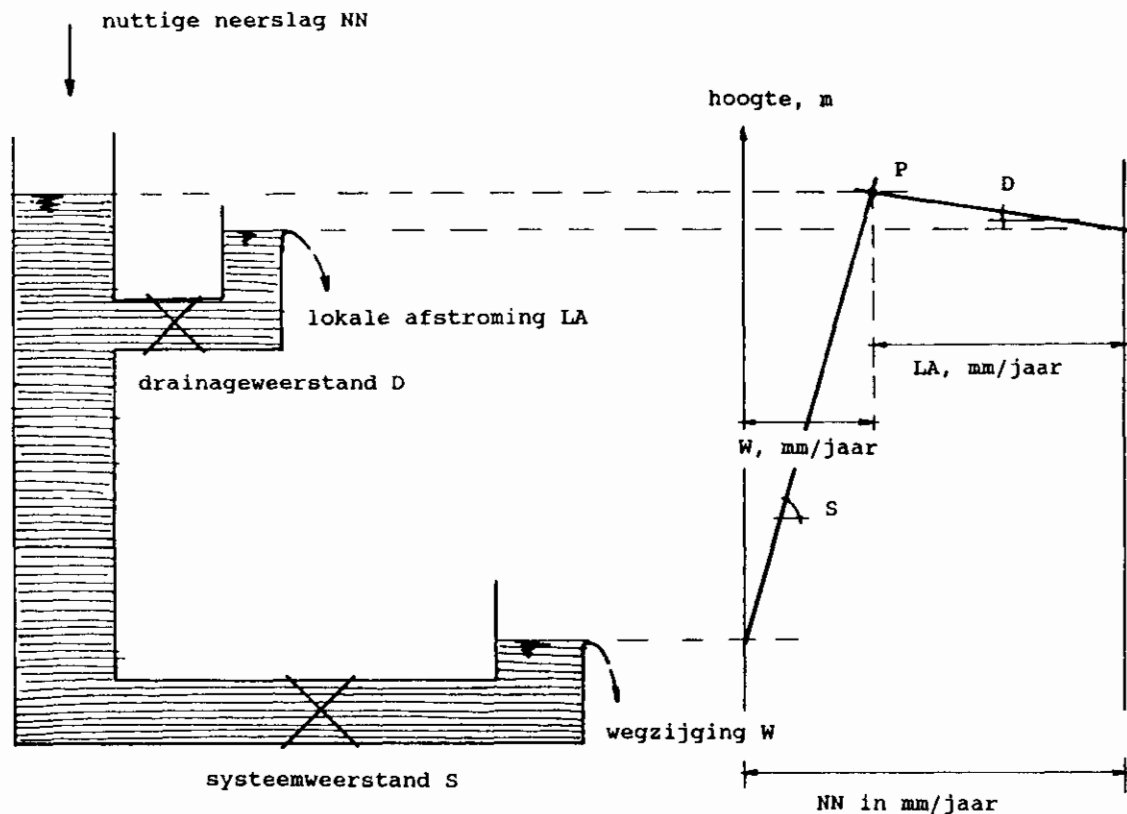
De perifere afstroming is hier gereserveerd voor afstroming die wordt veroorzaakt door kunstmatig aangebrachte peilverschillen met aanliggende terreinen. Zonder dat peilverschil zou geen grondwateruitwisseling met de aanliggende terreinen plaats vinden: in het beschouwd gebied en de aanliggende terreinen zou op dezelfde manier wegzijging (of kwel) plaatsvinden. De perifere afvoer staat eigenlijk voor een gesuperponeerde grondwaterstroming veroorzaakt door een peilverschil met aanliggende terreinen.

In het geval van een omvangrijk grondwatersysteem zal goed onderscheid te maken zijn tussen de perifere afstroming en de wegzijging naar het systeem, maar bij kleine systemen kunnen zij samenvallen. Een klein systeem heeft immers afmetingen die van dezelfde orde grootte zijn als die van het terrein en zijn direkte omgeving.

Zonder peilverschil met aanliggende gebieden, zoals reeds vermeld, treedt geen perifere afstroming op. Deze situatie wordt eerst geanalyseerd:

#### situatie zonder perifere afstroming

In- en afstroming in een wegzijgsituatie zijn zeer schematisch weergegeven in figuur 3.2.



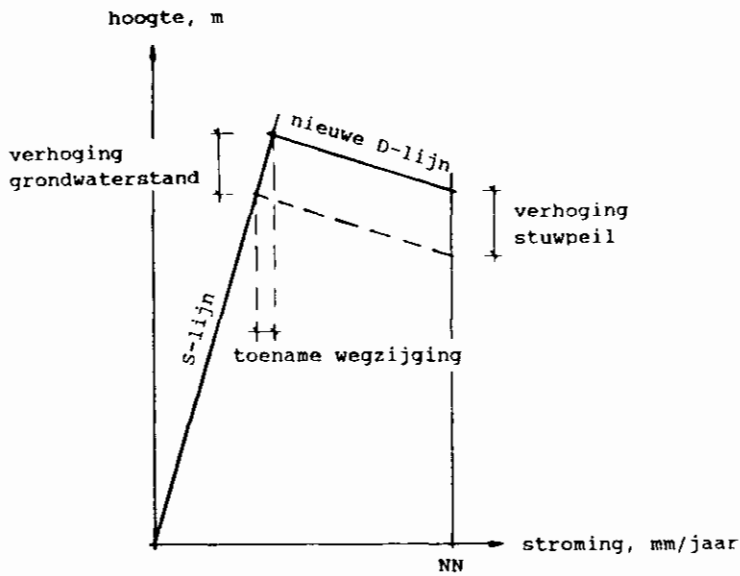
Figuur 3.2: Grafische bepaling van afstromingscomponenten

De nuttige neerslag  $N$  stroomt af in 2 componenten naar 2 verschillende drainagebases:

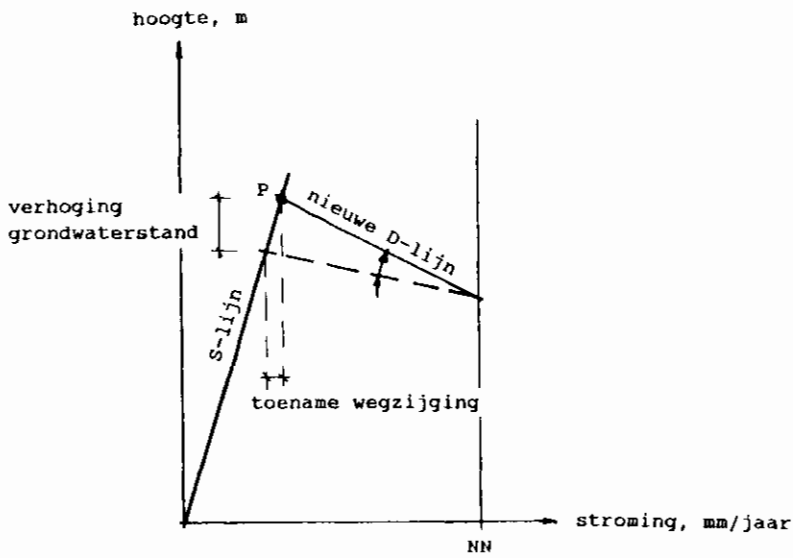
de wegzijging  $W$  via het grondwatersysteem naar het bijbehorende kwelgebied, waarbij een "systeemweerstand"  $S$  overwonnen moet worden; het systeem is daarbij zeer globaal geschematiseerd tot een permanente stroombuis met constante doorsnede.

de lokale afstroming  $LA$  naar oppervlaktewater via de drainageweerstand  $D$ ;

In figuur 3.2 is tevens aangegeven hoe de wegzijging en de lokale afstroming grafisch kunnen worden bepaald.  $W$  en  $LA$  moeten samen gelijk aan de nuttige neerslag zijn, terwijl zij omgekeerd evenredig zijn met de respectievelijke weerstanden  $S$  en  $D$ .



Figuur 3.3: Verhoogd stuwpeil

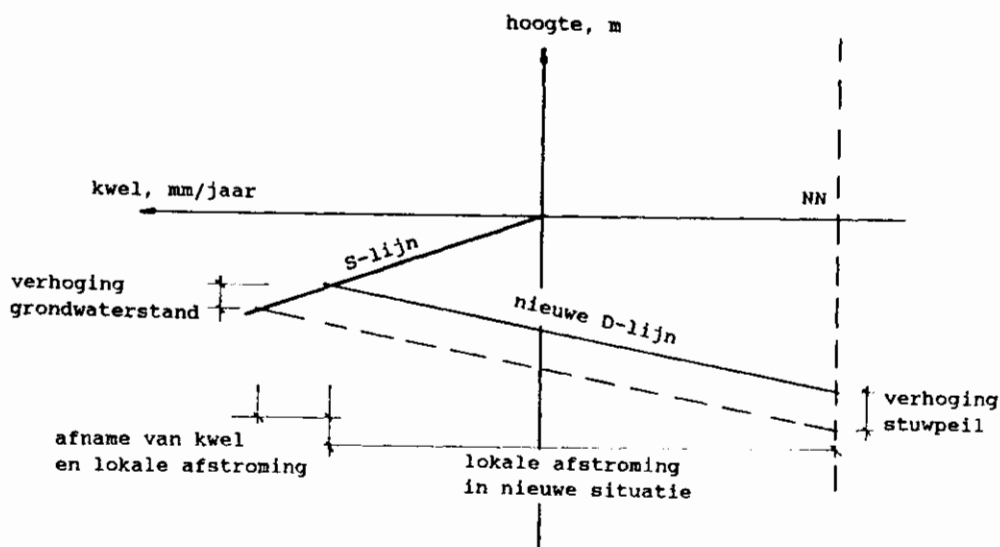


Figuur 3.4: Verhoogde drainageweerstand

Om het nut waar deze manier van weergeven te laten zien is in figuur 3.3 geschetst hoe wegzijging en de lokale afvoer veranderen wanneer het lokale oppervlaktewater hoger wordt opgestuwd. In de grafiek is te zien dat dat gebeurt door evenwijdige verschuiving van de D lijn. De S-lijn blijft onveranderd.

In figuur 3.4 is te zien hoe het grondwater omhoog komt bij verhoging van de drainageweerstand D, bij voorbeeld door het dempen van watergangen. Ook hier blijft de S-lijn onveranderd.

In- en afstroming in een kwelsituatie zijn op soortgelijke manier schematisch weer te geven. Als voorbeeld is in het diagram van figuur 3.5 een kwelsituatie getoond, waarin de grondwaterstand omhoog komt door een hoger stuwpeil. De lokale afstroming is in dit geval gelijk aan de kwel plus de nuttige neerslag, zodat ook hier de lokale afstroming afgelezen kan worden vanaf de "NN-lijn". De S-lijn blijft ook hier onveranderd.



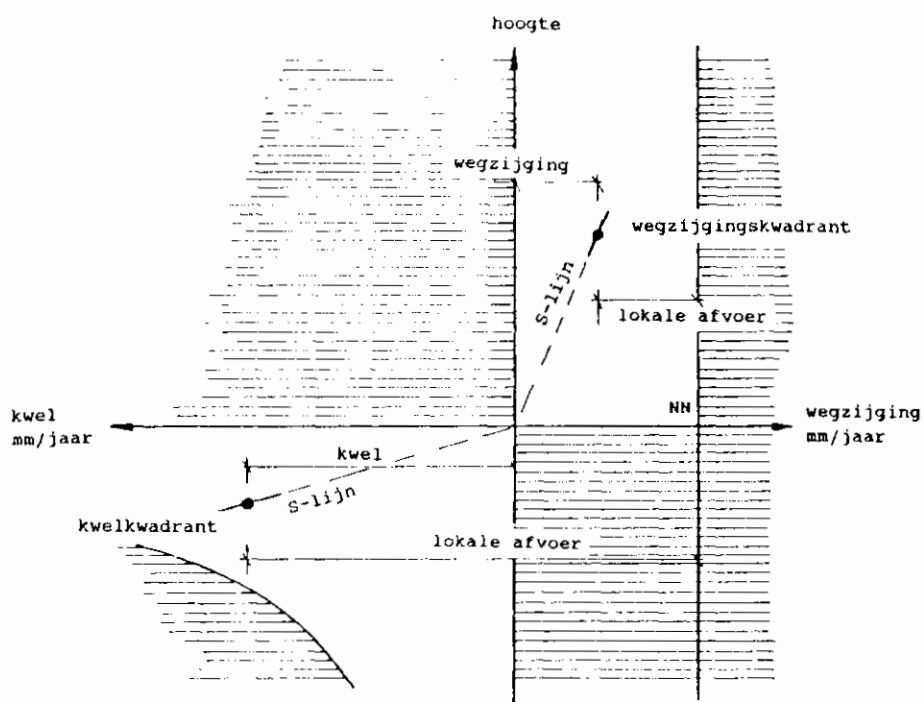
Figuur 3.5: Voorbeeld van een kwelsituatie

In het hoogte-afstromingsdiagram zoals gebruikt in de voorgaande figuren wordt een hydrologische situatie op een globale, maar fundamentele manier gekarakteriseerd. Een hydrologische situatie komt overeen met een punt in het diagram en het vlak van het diagram vormt de verzameling van mogelijke situaties, zie figuur 3.6. In het eerste kwadrant liggen wegzijgsituaties, in het derde kwadrant kwelsituaties. Het tweede en vierde kwadrant levert geen reële situaties. Ook zijn - zonder wateraanvoer - geen situaties denkbaar met meer wegzijging dan de nuttige neerslag (van ruwweg 300 mm/jaar), waardoor ter rechter zijde van de "NN-lijn" ook geen reële situaties liggen. In de linker-onderhoek van het diagram is een gebied uitgesloten

met grote systeemweerstand en desondanks intensieve kwel: in de praktijk komt dat niet voor vanwege het beperkte systeemverval.

In figuur 3.6 zijn 2 voorbeelden van situaties aangegeven, in het wegzijg- en kwelgebied respectievelijk. Die 2 situaties moeten overigens niet worden opgevat als bij elkaar behorende wegzijg- en kwelgebieden van een grondwatersysteem. Voor iedere situatie zijn een aantal interessante kenmerken te zien:

- \* de systeemweerstand;
- \* de wegzijging respectievelijk de kwel;
- \* de afstroming naar het lokale oppervlaktewater stelsel;
- \* de hoogte van het grondwater ten opzichte van de andere zijde van het grondwatersysteem (het systeemverval);
- \* veranderingen in bovengenoemde componenten als gevolg van een gewijzigde inrichting van de lokale afstroming (de helling van de S-lijn).



Figuur 3.6: Hoogte - afstroming diagram



Natuurlijk moet men zich realiseren dat de gebruikte schematisatie wel heel abstract is. In werkelijkheid zijn de weerstanden niet lineair, is de doorsnede van de stroombaan verre van constant, is de stroming niet stationair, enzovoorts. Bij opzetten van het oppervlaktewaterpeil gaat de grondwaterstand lang niet altijd even veel mee omhoog (maar minder). Aan de hand van de grafische figuurtjes mogen ook geen exakte berekeningen worden uitgevoerd, maar er kan wel een indruk mee worden verkregen van het relatieve belang van de verschillende grootheden. Met name de verhouding tussen peilverschil en veranderde afstroming (de S-lijn) is goed "te zien". In hoofdstuk 4, bij het onderscheiden van hydrologische gebiedstypen, wordt daar gebruik van gemaakt.

#### situatie met perifere afstroming

Deze situatie met 3 afstromingscomponenten is al geschetst in figuur 3.1. De weerstand tegen afstroming is steeds uit te drukken in een aantal dagen.

De systeemweerstand S is af te leiden uit de wegzijging in mm/dag en het systeemverval in m:

$$S = 1000 * \text{systeemverval} / \text{wegzijging}$$

De systeemweerstand neemt waarden aan van duizend tot tienduizenden dagen.

De weerstand tegen perifere afstroming P bedraagt:

$$P = b * \text{oppervlak} / (\text{omtrek} * [\text{kD}])$$

waarin [kD] in m<sup>2</sup>/dag, een maat voor de doorlatendheid die in eenvoudige gevallen inderdaad het doorlaatvermogen van de ondergrond kD is, maar in andere gevallen een wat meer ingewikkelde parameter. De diepte van de perifere afstroming (en dus van de doorstroomde kD) hangt af van de afmetingen van het betreffende terrein. Die afmetingen zijn meestal beperkt tot honderden meters of enkele kilometers, waardoor de diepte van de perifere afstroming tot enkele tientallen meters beperkt zal zijn.

en b in m, de breedte van een bufferstrook tussen de verschillende peilen waardoor de perifere stroming wordt gegenereerd.

De waarde van P - bij een bufferstrook van 50 m - varieert van enkele dagen (voor een lintvormig terreintje op doorlatende zandgrond) tot enkele duizenden dagen (in het geval van een groot, cirkelvormig terrein op slecht doorlatende grond).

De drainageweerstand neemt waarden aan van enkele tientallen tot enkele honderden dagen.

De verhouding tussen de 3 componenten is niet meer eenvoudig grafisch weer te geven zoals in de situatie zonder perifere afvoer, maar eenvoudige berekeningen zijn wel mogelijk.

De grondwaterstand stelt zich zo in dat de nuttige neerslag afstroomt op de 3 genoemde manieren naar de 3 bijbehorende drainagebases. Bij een systeemverval  $H$ , een peilverschil met de omgeving van  $h$  en een grondwaterstand boven de lokale drainagebasis van  $d$  geldt dan:

$$H/S + h/P + d/D = \text{nuttige neerslag.}$$

Hieronder wordt een voorbeeldberekening gegeven, waarbij men zich moet realiseren dat het weer om een zeer globale abstractie (lineair, stationair) gaat. Duidelijk wordt wel dat de perifere afstroming een grote invloed op de waterbalans kan hebben:

En wegzijgebied, met  $H = 12$  m;  $S = 30.000$  dagen

$d = 0,25$  m;  $D = 600$  dagen

geen peilverschil met de burens,  $h = 0$

$$12.000 \cdot 365 / 30.000 + 250 \cdot 365 / 600 = 298 \text{ mm/jaar}$$

$$W = 146 \text{ mm/jaar} \quad LA = 152 \text{ mm/jaar}$$

Vervolgens wordt het peil in het omringende gebied met 0,4 m verlaagd, terwijl de weerstand tegen perifere afstroming 625 dagen bedraagt (terrein van 500 bij 500 m, bufferbreedte van 50 m,  $kD$  van  $10 \text{ m}^2/\text{dag}$ ).

De grondwaterstand blijkt met 0,19 m af te nemen:

$$11.810 \cdot 365 / 30.000 + 60 \cdot 365 / 600 + 210 \cdot 365 / 625 = 303$$

$$W = 144 \quad LA = 36 \quad PA = 123 \text{ mm/jaar}$$

De afstroming naar het oppervlaktewater is fors afgenomen, de wegzijging is nauwelijks veranderd, de perifere afstroming is aanzienlijk.

Onder de aanname dat de weerstand  $P$  klein is ten opzichte van de systeemweerstand  $S$ , zal de grondwaterstand dalen met een fractie  $D/(D+P)$  bij peilverlaging bij de burens. Hoe hoger de drainageweerstand, des te groter de daling: een afname van de lokale afstroming vertaalt zich dan immers in veel minder "opbolling".

### 3.3 Ontwatering

Bij ontwatering van een terrein is het doel het verlagen van de grondwaterstand. Meestal zal het om een verlaging van de hogere grondwaterstanden in winter en voorjaar gaan.

De ontwatering wordt doorgaans bereikt door aanpassing van het lokale drainagestelsel. De lokale drainagebasis wordt verlaagd of de drainageweerstand wordt verkleind, of een combinatie van die twee. Het verlagen van de drainageweerstand heeft vooral zin in het geval van een aanmerkelijke afstroming naar het lokale oppervlaktewater, terwijl verlaging van de drainagebasis ook in aanmerking komt wanneer die afstroming gering is.

Ontwatering zal uiteraard slechts worden uitgevoerd op plaatsen waar de oorspronkelijke grondwaterstand relatief hoog is.

Als gevolg van ontwatering zal de afstroming naar het oppervlaktewater toenemen, des te meer naarmate de systeemweerstand lager is. Globaal is dat mechanisme te zien in de figuren 3.3 en 3.4.

De fluctuatie van grondwaterstanden zal over het algemeen verminderen door ontwatering.

### 3.4 Verlaging van de grondwaterstand elders

Ook elders - niet op het beschouwde terrein - kan een verlaging van de grondwaterstand zijn aangebracht, door ontwatering.

Wanneer die verlaging in de omgeving van het terrein is opgetreden maar niet op het terrein zelf, zal daardoor een perifere afstroming zijn veroorzaakt zoals beschreven in paragraaf 3.2. Deze situatie komt vaak voor in het geval van een natuurterrein omgeven door landbouwgronden. De perifere afstroming kan zeer aanzienlijk zijn zoals aangegeven in het voorbeeld van paragraaf 3.2.

Wanneer de diepere ontwatering plaats heeft gevonden over een zeer uitgestrekt gebied, zal het resultaat in grote lijnen bestaan uit een regionale daling van de grondwaterstand. In dat geval vallen wegzijging en perifere afstroming samen en gaat de geschematiseerde werkwijze van paragraaf 3.2 niet meer op.

### 3.5 Permanente, diepe onttrekkingen

Permanente, diepe grondwateronttrekkingen dienen meestal voor de drink- en industriewatervoorziening.

De gevolgen van diepe, permanente onttrekkingen zijn niet eenvoudig te doorgronden. Het onttrokken debiet moet ergens leiden tot verminderde afstroming naar het oppervlaktewater, maar niet noodzakelijkerwijs op de plaats van herkomst van het gewonnen water. In andere woorden: de verminderde afstroming vindt niet noodzakelijkerwijs plaats in het intrekgebied. Het intrekgebied, de plaats van de onttrekking en de plaats van verminderde afstroming kunnen allen verschillend zijn.

De dalingen van de grondwaterstand worden veroorzaakt door de stroming van grondwater van de plaats van verminderde afstroming naar de plaats van onttrekking. De potentiaaldaling is dus altijd het grootst op de plaats en diepte van de onttrekking, en des te groter naarmate de onttrekking verder is verwijderd van de plaats van verminderde afstroming.

De aanwezigheid van naar oppervlaktewater uitstromend grondwater heeft een matigende uitwerking op dalingen van de grondwaterstand. Daar kan immers verminderde afstroming plaats vinden. Pas nadat die uitstroming tot nul is gereduceerd door de onttrekking zal de grondwaterstand onevenredig meer dalen.

Afhankelijk van de plaats van de verminderde afstroming zijn twee eenvoudige rekenwijzen voor de potentiaaldalingen bekend:

- A. Als de verminderde afstroming pas gevonden wordt op een cirkel met straal  $R$  is de grootste daling van de grondwaterstand bij de plaats van onttrekking (die, naar is aangenomen, een straal van 200 m heeft):

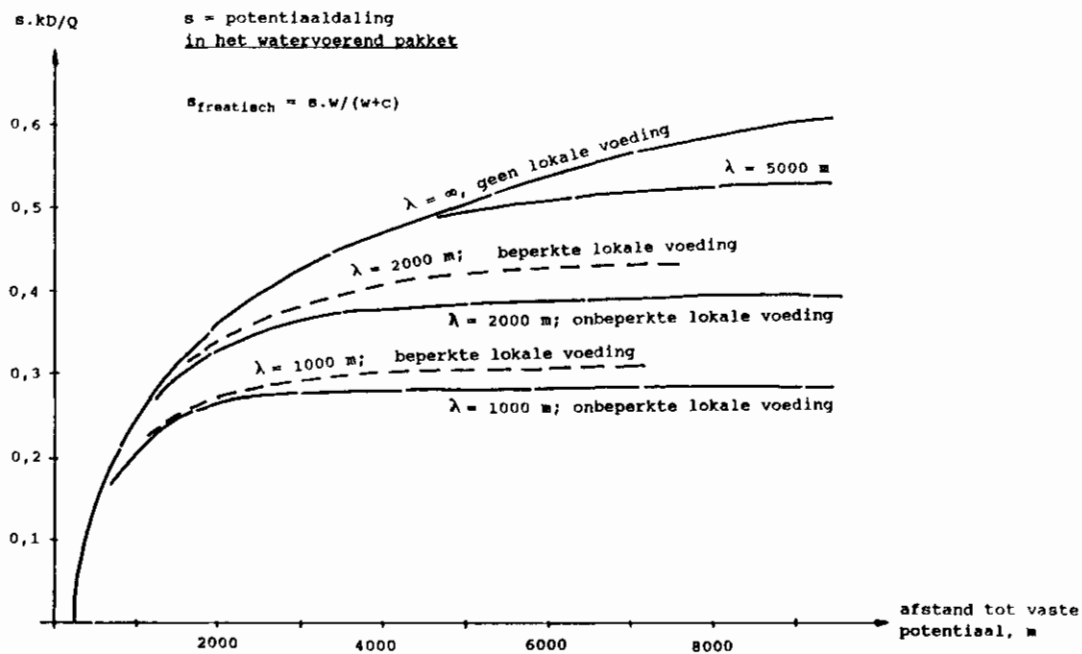
$$s_{\max} = Q/2\pi kD \ln R/200$$

- B. Het kan ook zijn dat de verminderde afstroming plaats vindt ter plaatse van de onttrekking, maar boven een scheidende laag met weerstand  $c$ . De grootste daling is dan:

$$s_{\max} = w/(w+c) Q/2\pi kD K_0(200/\lambda)$$

Tenslotte is het mogelijk dat de verminderde afstroming plaats vindt bij de onttrekking, maar slechts tot een bepaald maximum waarboven de sloten droogvallen. Het resultaat is dan een gebied binnen de drooggevallen cirkel dat zich gedraagt op de manier van de eerste formule en daarbuiten een gebied waar de tweede geldt [Blom, 1974]. Hoe minder het door de sloten te leveren debiet is, des te groter is de drooggevallen cirkel.

In figuur 3.7 zijn bovengenoemde formules tezamen weergegeven. De dimensieloze parameter  $s \cdot kD/Q$  is uitgezet tegen de afstand waarop de grondwaterpotentiaal kunstmatig wordt vastgehouden.



Figuur 3.7: Potentiaaldaling door onttrekkingen

Het blijkt dat de waarde van  $s \cdot kD/Q$  in zeer veel gevallen ruwweg rond 0,4 ligt. Het betreft dan wel de potentiaaldaling in het watervoerende pakket. De freatische daling is daar een fractie van:

$$s_{freat.} = s \cdot w / (w + c)$$

waarin  $w$  = drainageweerstand in dagen,  
 $c$  = weerstand van de afdekkende laag in dagen.

De aanwezigheid van een afdekkende laag is van grote invloed op de daling van de grondwaterstand.

De grondwaterstand zal aldus bij benadering de volgende daling kennen nabij de onttrekking:

$$s_{freat.} = 0,4 \cdot Q/kD \cdot w / (w + c)$$

Een permanente onttrekking van 1,5 mln m<sup>3</sup>/jaar vindt plaats in een watervoerend pakket met een doorlaatvermogen van 2000 m<sup>2</sup>/dag onder een scheidende laag met een weerstand van 1200 dagen. De plaatselijke drainageweerstand bedraagt ongeveer 300 dagen.  
De grondwaterstand nabij die onttrekking zal er ongeveer 15 cm door dalen, in orde van grootte.

### 3.6 Ondiepe, tijdelijke onttrekkingen

Ondiepe, tijdelijke onttrekkingen worden veelal voor beregening in landbouwgebieden aangewend. Over het algemeen zal het over een groot aantal kleinere onttrekkingen gaan, die tezamen als een diffuse onttrekking over een groter gebied kunnen worden beschouwd. Tijdens het beregeningsseizoen zal de afstroming naar het lokale oppervlaktewater nihil of te verwaarlozen zijn. Omdat de onttrekkingen slechts tijdelijk zijn zal een beïnvloeding van de verdere omgeving niet op gang kunnen komen. De onttrekkingen ontleen om die reden hun debiet voor een groot deel uit intering op berging.

De per saldo onttrokken hoeveelheid blijkt in de praktijk ruwweg 1,5 keer het opgeheven vochttekort te bedragen. Stel dat het vochttekort 100 mm bedraagt en dat 20% van de oppervlakte wordt beregend. Met een bergingscoëfficiënt van 0,1 levert dit een daling van de grondwaterstand van 0,3 m op aan het einde van het groeiseizoen. Voor natuurlijke vegetaties is echter de daling midden in de zomer van belang, waardoor niet de gehele beregeningsgift meegeteld moet worden, maar laten we aannemen slechts voor 80%. Uiteindelijk geldt dan bij benadering dat een vochttekort van 100 mm in enig jaar aanleiding geeft tot een daling van de grondwaterstand in de zomer van 25 cm.

Hoe groter het opgeheven vochttekort, des te dieper de daling, en die moet worden gesuperponeerd op de toch al diepe stand vanwege de geringe neerslag.

Afhankelijk van het bodemtype en de grondwaterstand komt in Nederland regelmatig een vochttekort voor van 25 tot 50 mm met daling door beregening van een decimeter. In droge jaren op droogtegevoelige gronden kan een vochttekort van 150 mm worden bereikt, wat bij benadering leidt tot een daling van enkele decimeters. In gebieden waar zeer intensief wordt beregend (veel meer dan de genoemde 20%) kan de daling bij extreme droogte in de buurt van een meter komen.

### 3.7 Inlaat van water

Met inlaat van water wordt (in de zomer) het oppervlaktewater op peil gehouden.

De indringing van het ingelaten water in de grond nabij de watergangen is over het algemeen beperkt. Het effect van waterinlaat bestaat dan slechts uit een opstuwning van het grondwater dat anders zou uitstromen naar de watergangen. Een stuw zou zonder inlaat van water wellicht droog staan en daarmee zijn functie verliezen. De invloed van opstuwning is schematisch te zien in figuur 3.3.

Uiteraard heeft de inlaat een duidelijke invloed op het aquatische systeem - zowel op de watervoerendheid als op de waterkwaliteit.

Bij relatief goed doorlatende gronden zal wellicht enige indringing van water kunnen worden bereikt. Het water zal echter in het natte seizoen weer direkt worden afgevoerd.

Onderdeel NOV 10 [Touw Civiel en Bouw, 1995] van het Nationaal Onderzoekprogramma Verdroging heeft inlaat van water als specifiek onderwerp.





## 4 KLASSIFIKATIE VAN HYDROLOGISCHE SITUATIES

### 4.1 Inleiding

In de jaren '50, ten tijde van de introductie van het begrip grondwatertrap, bestond een redelijk eenduidige relatie tussen de grootte van de kwel/wegzijging, de aard van het ontwateringsstelsel en de grondwaterstand van een gebied. Die relatie had maar ten dele een fysische basis, maar was veel meer een gevolg van de eisen van agrarische bedrijfsvoering. Naarmate de kwel groter was, was een grotere ontwateringsinspanning gepleegd, terwijl de resulterende grondwaterstand hoger bleef dan in oorspronkelijke drogere gebieden. Hoe hoger de kwel, des te lager de grondwatertrap. In de afgelopen decennia is bovengenoemde relatie verstoord geraakt, bij voorbeeld onder invloed van de uitvoering van diepere ontwatering: hoewel de grondwaterstand er door verlaagd werd, nam de kwel toe. Elders nam bij voorbeeld de kwel af door onttrekkingen van grondwater, waardoor het ontwateringsstelsel niet meer bij de actuele situatie paste.

Vanwege die oorspronkelijke relaties is gekozen voor een hydrologische typologie van de situatie zoals die in de jaren '50 bestond. De hydrologische kenmerken van een type, zoals systeemweerstand, systeemverval, drainageweerstand, grondwaterstand en de verschillende waterbalanstermen kennen daardoor een logische samenhang. Bovendien vertegenwoordigt de situatie van de jaren '50 in zekere mate het referentiekader van verdrogingsherstel.

De oorspronkelijke situatie kan ondertussen in meer of mindere mate zijn "aangetast"; ook van die aantasting is in dit rapport een klassifikatie opgesteld. Gebiedstype en aantasting samen leveren de huidige situatie op.

De aantasting is ontstaan door de verdrogingsoorzaken. Ook uit de mate van aantasting zouden dus conclusies kunnen worden getrokken ten aanzien van herstelwensen. Dat is hier niet gebeurd: de typologie is uitsluitend gebruikt voor de beschrijving van de hydrologische situatie en niet voor het bepalen van het einddoel van natuurherstel.

### 4.2 Typologie van de oorspronkelijke situatie

De hydrologische kenmerken van een lokatie bestaan uit de grondwaterstand(sfluctuaties), de waterbalanstermen als wegzijging/kwel en afstroming naar plaatselijk oppervlaktewater, de drainageweerstand, de systeemweerstand en het systeemverval. Het bodemtype is grotendeels van de hydrologische situatie afgeleid, en is daardoor een zeer constant en belangrijk kenmerk. Ook de oorspronkelijke vegetatie weerspiegelt de hydrologische situatie en kan worden gebruikt bij de determinatie van het hydrologische type. Sommige kenmerken vormen een gebiedsconstante zoals de systeemweerstand en in mindere mate het systeemverval (hoewel systemen ook verstoord kunnen raken door menselijk ingrijpen). Andere kenmerken kunnen door de mens worden gewijzigd, zoals de kenmerken van het ontwateringsstelsel. De

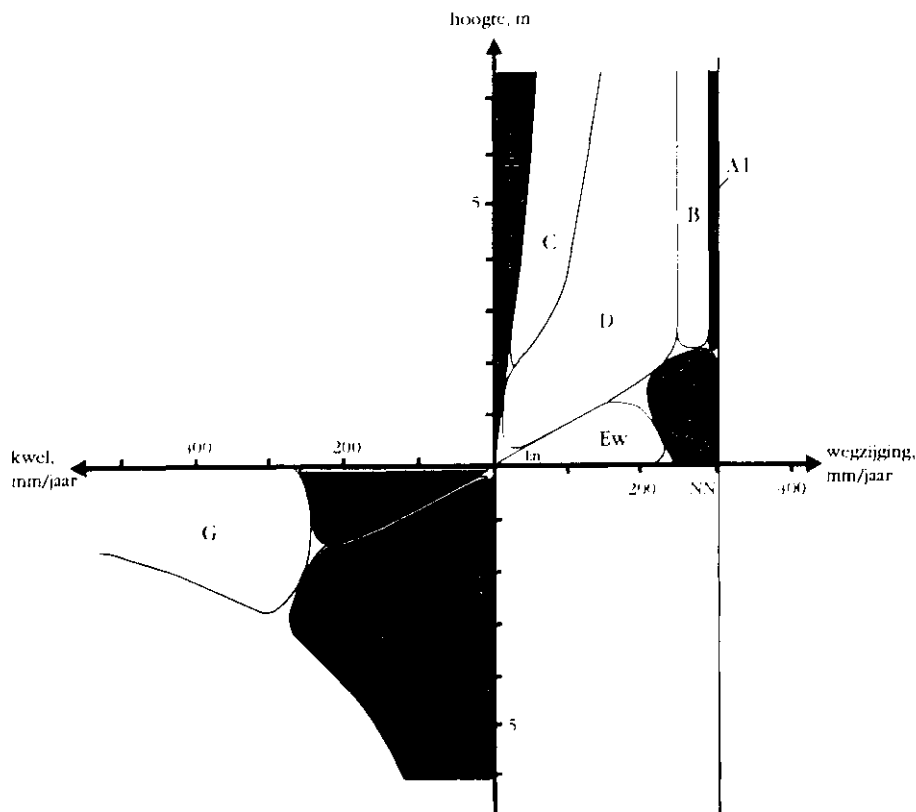
| type | omschrijving  | wegzijing in mm |        | afvoer naar opp. water, in mm |        | Gt  | drainage weerstand dag | systeem weerstand jaar |
|------|---|-----------------|--------|-------------------------------|--------|-----|------------------------|------------------------|
|      |   | zomer           | winter | zomer                         | winter |     |                        |                        |
| A1   | (hoog) wegzijgebied, met diepe grondwaterstand          | 150             | 150    | 0                             | 0      | VII | n.v.t.                 | 30                     |
| A2   | andere wegzijgebieden zonder afvoer naar het opp. water | 50              | 250    | 0                             | 0      | VII | n.v.t.                 | 5                      |
| B    | wegzijgebied met alleen afvoer in zeer natte tijden     | 125             | 150    | 0                             | 25     | VI  | 1000                   | 20                     |
| C    | wegzijgebied met afdichtende laag op geringe diepte     | 50              | 75     | 0                             | 175    | V   | 300                    | 40                     |
| D    | wegzijgebied met in de winter afvoer naar het opp.water | 40              | 125    | 10                            | 125    | V   | 450                    | 10                     |
| EW   | relatief laag gelegen, marginaal wegzijgebied           | 25              | 100    | 25                            | 150    | III | 350                    | 2                      |
| En   | gebied met afwisselend kwel en wegzijing                | -50             | 50     | 40                            | 260    | IV  | 300                    | 2                      |
| Ek   | relatief hoog gelegen, marginaal kwelgebied             | -75             | -50    | 50                            | 375    | III | 200                    | 2                      |
| F    | dieper liggend kwelgebied met dikke afdeklaag           | -125            | -75    | 100                           | 400    | II  | 150                    | 30                     |
| G    | kwelgebied met weinig afdekking                         | -250            | -250   | 200                           | 600    | I   | 75                     | 2                      |
| H    | geïsoleerd gebied                                       | 10              | 15     | 25                            | 250    | III | 200                    | 100                    |

de gegevens voorbeelden zijn tevens weergegeven in figuur 4.2

figuur 4.1: GEBIEDSTYPOLOGIE met representatief voorbeeld van de hydrologische kenmerken

waterbalanstermen zijn de resultante van de voorgaande kenmerken. Slechts een beperkt aantal combinaties van de kenmerken blijkt in de werkelijkheid voor te komen; de reden daartoe is al geschetst in paragraaf 4.1. De mogelijke combinaties vormen tezamen de typologie van oorspronkelijke hydrologische situaties.

Representatieve voorbeelden van de typen met de waarden van bovengenoemde kenmerken zijn gepresenteerd in figuur 4.1. Daarin is ook een typeaanduiding (A1 t/m H) en een korte omschrijving vermeld. De typen en het vermelde voorbeeld zijn bovendien aangegeven in figuur 4.2 waarin de waterbalanstermen, het systeemverval en de systeemweerstand zijn uitgezet, op een wijze zoals hiervoor beschreven in paragraaf 3.2.



Figuur 4.2: Gebiedstypologie in hoogte-afstromingsdiagram

De volgende gebiedstypen zijn onderscheiden:

- A1** Wegzigggebieden zonder afvoer naar een plaatselijk stelsel van waterlopen, met een grondwaterstand ver beneden maaiveld. Gebieden dus met volledige wegzijging. De vegetatie is niet afhankelijk van de diepte of van een daling van de grondwaterstand. Over het algemeen zal type A1 een vrij grote uitgebreidheid hebben en de instroming leveren voor een grondwatersysteem met relatief hoog verval en weerstand. De systeemweerstand  $W$  zal over het algemeen in orde van grootte enkele tientallen jaren bedragen.  
Aan de randen gaan gebieden van type A1 over in wegzigggebieden met in de winter enige afvoer, type B.
- A2** Andere gebieden met volledige wegzijging, zonder lokale afvoer. De grondwaterstand kan in dit geval dicht bij maaiveld liggen, de vegetatie zou door een daling van de grondwaterstand aangetast kunnen worden. De gebieden zijn niet erg uitgestrekt, de systeemweerstand neemt waarden aan van hooguit enkele jaren. Type A1 gaat aan de randen meestal over op type D of Ew.
- B** Hoewel de systeemweerstand van type B enkele tientallen jaren bedraagt, is de grondwaterstand niet zeer diep. Dit type komt niet veel voor en vormt een overgang tussen type A1 en D. Er is nauwelijks lokale afvoer, maar de vegetatie kan worden aangetast door daling van het grondwater.
- C** Onder invloed van een slecht doorlatende laag nabij het maaiveld staat het grondwater in de winter zeer hoog. Vanwege de relatief hoge ligging van deze gebieden vindt toch enige wegzijging plaats. In de winter bevindt zich vaak een schijnspiegel boven de afsluitende laag die in de zomer afwezig is. De seizoensfluctuatie van de grondwaterstand is hoog,  $Gt > V$ . Het neerslagoverschot in de winter wordt grotendeels afgevoerd.  
De keileemgebieden vallen onder type C.
- D** Onder dit type vallen de meeste Pleistocene hogere gronden. In de winter vindt lokale afvoer plaats, in de zomer vrijwel niet. De systeemweerstand is in orde van grootte een jaar of 10.
- E** Deze gebieden bevinden zich ruimtelijk nabij de grens tussen kwel- en wegzigggebieden. Subtype Ew kent wegzijging gedurende het gehele jaar, subtype En afwisselend kwel en wegzijging en subtype Ek voortdurend lichte kwel. De systeemweerstand van deze gebieden is gering en hun hydrologische stabiliteit gering: deze gebieden zijn door geringe oorzaken al ernstig verstoord.  
Het opkwellende grondwater is meestal zacht vanwege de geringe doorstroomde afstand ("laterale kwel"), afhankelijk van de aard van de doorstroomde grond. De periodieke

kwel in type En bestaat uit tevoren geïnfiltreerd neerslagwater en resulteert dus niet in echte kwelvegetatie.

- F** Relatief diep gelegen kwelgebieden met een afdekkende laag van aanzienlijke weerstand. De intensiteit van de kwelstroom is daardoor beperkt. De systeemweerstand bedraagt tien tot tientallen jaren. In een aantal gevallen is de kwel afkomstig van nabijgelegen hogere boezemwateren, waardoor de systeemweerstand niet altijd zeer groot hoeft te zijn. Het is in die gevallen evenmin zeker dat het kwelwater een lithoclien karakter heeft vanwege de korte doorstroomde afstand.
- G** Kwelgebieden met een zeer hoge kwelintensiteit, die alleen mogelijk is bij een geringe afdekking en systeemweerstand. Meestal betreft het hier boezemkwel. Vooral de randen van droogmakerijen kennen de combinatie van een groot systeemverval en een geringe afdekking. Type G komt ook voor aan de randen van beekdalen.
- H** Geïsoleerde gebieden, dat wil zeggen gebieden met een vrijwel volledig dichte laag op geringe diepte. Daardoor is noch van kwel sprake, noch van wegzijging. De volledige nuttige neerslag wordt lokaal afgevoerd, de systeemweerstand is zeer hoog. Over het algemeen gaat het om slecht ontwaterde, moerassige gebieden, plassen en vennen, maar ook om lager liggende gebieden met zware kleigrond.

In de figuren 4.3 en 4.4 zijn de grondwatertrappen en bodemsoorten aangegeven die in de verschillende gebiedstypes voor kunnen komen.

|     | A1 | A2 | B | C | D | Ew | En | Ek | F | G | H |
|-----|----|----|---|---|---|----|----|----|---|---|---|
| I   |    |    |   |   |   |    |    |    |   | * | * |
| II  |    |    |   |   |   |    | *  | *  | * | * | * |
| III |    |    |   |   | * | *  | *  | *  | * | * | * |
| IV  |    |    |   |   |   | *  | *  |    | * |   |   |
| V   |    |    | * | * | * |    |    |    |   |   |   |
| VI  |    | *  | * |   |   |    |    |    |   |   |   |
| VII | *  | *  |   |   |   |    |    |    |   |   |   |

Figuur 4.3: gebiedstype en grondwatertrap

|                       | A1 | A2 | B | C | D | Ew | En | Ek | F | G | H |
|-----------------------|----|----|---|---|---|----|----|----|---|---|---|
| Koopveengronden       |    |    |   |   |   |    |    |    |   | * |   |
| Madeveengronden       |    |    |   |   |   |    |    |    |   | * | * |
| Weideveengronden      |    |    |   |   |   |    |    |    |   | * |   |
| Waardveengronden      |    |    |   |   |   |    |    |    |   | * |   |
| Meerveengronden       |    |    |   |   |   |    |    |    |   | * | * |
| Vlieerveengronden     |    |    |   |   |   |    |    |    |   | * | * |
| Holtpodzolgronden     | *  | *  |   |   |   |    |    |    |   |   |   |
| Moerige podzolgronden |    |    |   |   |   |    |    | *  |   | * | * |
| Laarpodzolgronden     |    | *  | * | * | * |    |    |    |   |   |   |
| Veldpodzolgronden     | *  | *  | * | * | * | *  | *  |    |   | * |   |
| Haarpodzolgronden     | *  | *  |   |   |   |    |    |    |   |   |   |
| Enkeerdgronden        | *  | *  | * |   | * |    |    |    |   |   |   |
| Tuineerdgronden       | *  | *  | * |   | * |    |    |    |   |   |   |
| Plaseerdgronden       |    |    |   |   |   |    |    |    | * |   |   |
| Broekeerdgronden      |    |    |   |   |   |    |    | *  |   | * | * |
| Gooreerdgronden       |    |    |   |   | * | *  | *  |    |   |   |   |
| Beekeerdgronden       |    |    |   |   |   |    |    | *  |   | * | * |
| Liedeerdgronden       |    |    |   |   |   |    |    |    | * |   |   |
| Tochteerdgronden      |    |    |   |   |   |    |    |    | * |   |   |
| Woudeerdgronden       |    |    |   | * |   | *  | *  | *  | * |   |   |
| Leekeerdgronden       |    |    |   | * |   | *  | *  | *  | * |   |   |
| Vlakvaaggronden       |    |    |   |   | * | *  | *  | *  |   |   |   |
| Drechtvaaggronden     |    |    |   |   |   |    |    |    | * |   |   |
| Nesvaaggronden        |    |    |   |   |   |    |    |    | * |   |   |
| Poldervaaggronden     |    |    |   | * |   | *  | *  | *  | * |   |   |
| Duinvaaggronden       | *  | *  | * |   | * |    |    |    |   |   |   |
| Vorstvaaggronden      | *  | *  | * |   | * |    |    |    |   |   |   |
| Ooivaaggronden        |    | *  | * |   | * |    |    |    |   |   |   |

Figuur 4.4: Gebiedstype en grondsoort

Hoewel de hydrologische kenmerken verschillend van aard zijn (systeemconstanten en systeemvariabelen) kunnen ze alle van nut zijn bij het determineren van het gebiedstype. Sterker: juist in combinatie beschouwd leiden ze tot een betrouwbare vaststelling van het type.

Met de typologie kan een gebiedsdekkende kaart gemaakt worden, met uitzondering van grote oppervlaktewateren. De deelgebieden kunnen zeer uitgestrekt zijn, zoals voor de hogere wegzijggebieden. In andere gevallen bestaan zij uit kleinere eilanden of smalle stroken. Het toekennen van gebiedstypen kan daarom het beste gebeuren op niet te grote schaal, bij voorbeeld 1:25.000. In figuur 4.5 is een voorbeeld gegeven van een gebiedsdekkende typetoekenning.

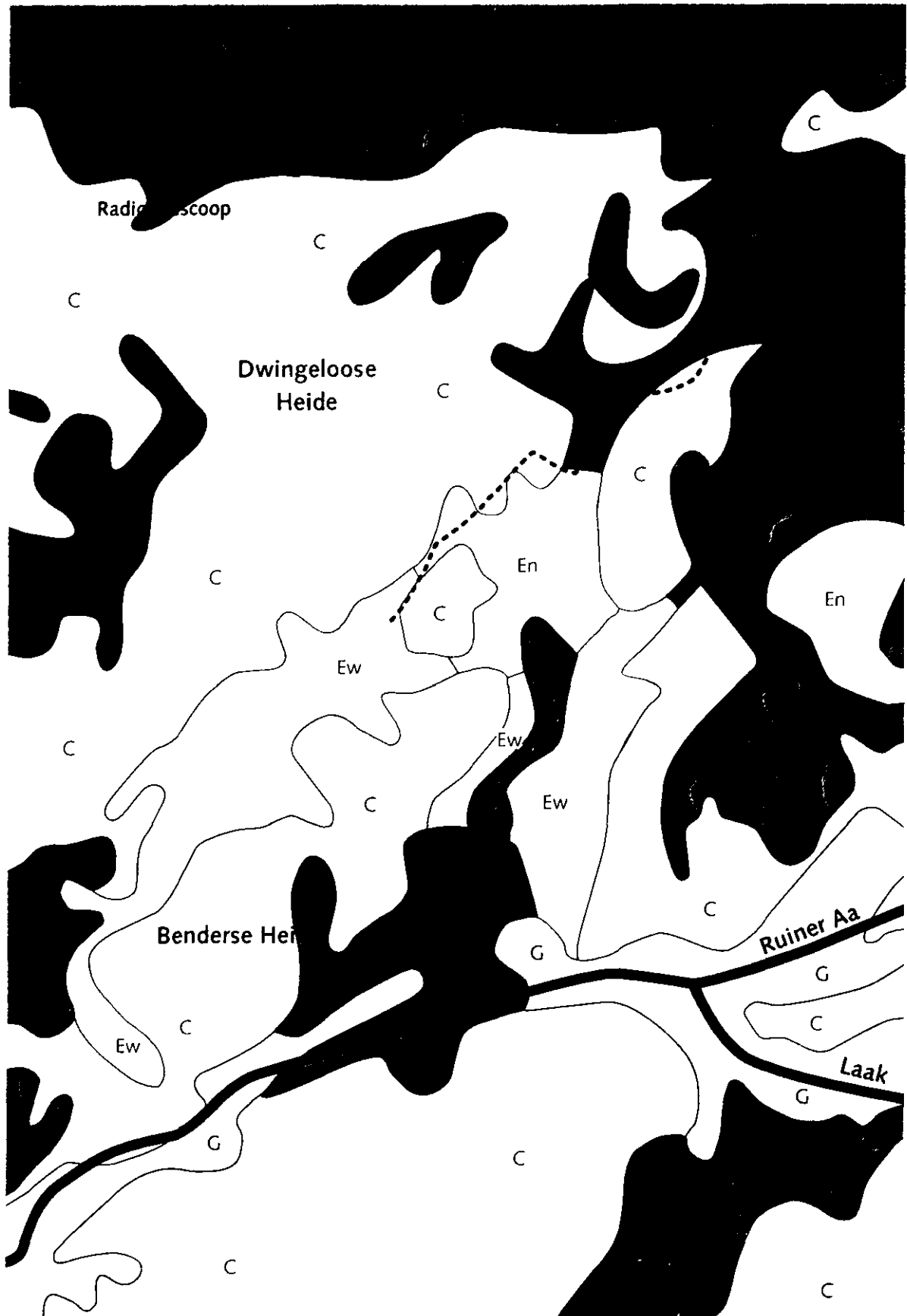
In figuur 4.5 is voor de Dwingeloose Heide ten noordwesten van Hogeveen op schaal 1:25.000 een typetoekenning uitgevoerd. Het gebied is op de rand van het Drentse Plateau gelegen. In vrijwel het gehele gebied is keileem aanwezig, niet alleen in gebieden van type C, maar ook in gebieden A (alleen op wat grotere diepte waardoor de hoge grondwaterstand in de winter ontbreekt). In de gebieden H komt de keileem vrijwel aan de oppervlakte voor. De aanwezigheid van keileem zorgt voor hoge grondwaterstanden in de winter, maar relatief diepe in de zomer.

De keileem is door erosie verdwenen in het dal van de Ruiner Aa, maar ook in de band van E typen die van zuidwest naar noordoost schuin door de figuur loopt. Dit is naar men aanneemt een oud gletsjerdal. Vanwege het ontbreken van de keileem staat het grondwater in dat oude dal direct onder invloed van het peil van de Ruiner Aa. In de gebieden met type Ek kwelt grondwater op vanuit de omliggende hogere gronden.

Aan het eind van hoofdstuk 6 worden de wijze van verdroging en de bijbehorende maatregelen voor dit gebied besproken.

De Bodemkaart 1:50.000 vormt een praktisch uitgangspunt voor het bepalen van het gebiedstype. Een oudere kaart, met de grondwatertrappen van rond 1960, is natuurlijk nog beter. Met bodemtype, grondwatertrap, ontwateringsstelsel en relatieve hoogteligging komt men al een heel eind. In sommige gevallen moet de ondergrond wat dieper bekend zijn. De termen van de waterbalans - wegzijging en afstroming naar het oppervlaktewater - zijn bijna altijd alleen voor veel grotere gebieden bekend. Die balanstermen zijn dus meestal niet geschikt als hulpmiddel bij de determinatie van het type. Wanneer een hydrologische systeemanalyse voor het gebied is uitgevoerd is het werk voor de determinatie grotendeels al gedaan.

Het is zinvol de typetoekenning gedetailleerd uit te voeren, omdat sommige herstelmaatregelen een uitwerking op detailschaal vragen. Vanwege de fijne detaillering die hiervoor is aanbevolen zullen de kleinere, bovenliggende grondwatersystemen zichtbaar zijn. Voor andere herstelmaatregelen is dat juist hinderlijk. Het heeft zin de typologiekartering tevens op wat grotere schaal te doen, waardoor het onderliggende grotere systeem zichtbaar wordt. De grootschalige typologie is eenvoudig van de detailkartering af te leiden. Op die grote schaal is wellicht wel een waterbalans beschikbaar.



Figuur 4.5: Typetoekenning Dwingeloose Heide 1:25.000



De typologie kent geen perifere afstroming zoals in hoofdstuk 3 gedefinieerd: het neerslagoverschot voedt het grondwatersysteem of stroomt af naar lokale watergangen. De perifere afstromingscomponent wordt gereserveerd voor de invloed van aantastingen en herstelmaatregelen, zoals in de volgende paragraaf zal worden uiteengezet.

### 4.3 Aantastingen

Verdroging kan door een aantal oorzaken teweeg zijn gebracht. Op basis van het mechanisme van de aantasting kunnen die oorzaken in drie groepen worden ingedeeld:

I Diepere ontwatering van het gebied zelf.

De verdroging is als het ware het doel geweest van de ingreep. In paragraaf 3.3 is uitgelegd wat de gevolgen van ontwatering zijn: behalve een lagere grondwaterstand treedt ook een toename van de afstroming naar het lokale ontwateringssysteem op, ten koste van de wegzijging (respectievelijk door een toename van de kwel in kwelgebieden). De mate waarin de lokale afstroming toeneemt is omgekeerd evenredig met de systeemweerstand. De globale waarde van de systeemweerstand is aangegeven in de figuren 4.1 en 4.2 voor verschillende hydrologische gebiedstypen. Bij hoge systeemweerstand is de gemiddelde lokale afstroming nauwelijks te beïnvloeden.

Diepere ontwatering zal alleen plaats hebben gevonden op plaatsen met oorspronkelijke wateroverlast. Dat is het geval voor de gebiedstypen met een hoge grondwaterstand, een lage drainageweerstand en een relatief hoge lokale afstroming. Bij type A1 zal niet verder ontwaterd zijn, bij typen A2 en B alleen in bijzondere gevallen.

II Ingrepen in de onmiddellijke omgeving van het terrein, die een perifere afstroming hebben gegenereerd.

Deze ingrepen betreffen diepere ontwatering in buurgebieden en/of grondwateronttrekkingen ten behoeve van beregening, waarvan het gedrag beschreven is in de paragrafen 3.4 en 3.6.

III Ingrepen in het grondwatersysteem, die de weerstand tegen wegzijging (respectievelijk de kweldruk) hebben verlaagd en die evenzeer uitwerking in de buurgebieden hebben als in het beschouwde gebied zelf.

Deze ingrepen betreffen diepere, permanente onttrekkingen, en grootschalige veranderingen in uitgestrekte gebieden als peilverlagingen, verminderde grondwatervoeding (onder andere door hogere landbouwproductie) en versnelde afstroming.

De oorzaken van groep II en III resulteren in eenzelfde soort aantasting, maar de remedie tegen de aantasting kan zeer verschillend zijn. In hoofdstuk 6 wordt daar verder op ingegaan. De aantasting bestaat steeds uit een verlaging van de grondwaterstand. In figuur 4.6 is de relatieve

| oorspronkelijk gebiedstype                                | A1  | A2  | B | C | D   | Ew | En | Ek | F | G | H   |
|---|-----|-----|---|---|-----|----|----|----|---|---|-----|
| <u>Diepere ontwatering (I)</u>                            |     |     |   |   |     |    |    |    |   |   |     |
| relatieve gevoeligheid voor toename afstroming            | nvt | 2   | 2 | 1 | 2   | 4  | 4  | 4  | 1 | 4 | 0   |
| <u>Externe ingrepen (II en III)</u>                       |     |     |   |   |     |    |    |    |   |   |     |
| relatieve gevoeligheid voor daling van de grondwaterstand | 4   | 2   | 3 | 1 | 2   | 1  | 1  | 1  | 1 | 1 | 0   |
| mogelijke aantastingsstadia per gebiedstype               | a   | nvt |   |   | nvt |    |    |    |   |   | nvt |
|   | b   | nvt |   |   | nvt |    |    |    |   |   | nvt |
|   | c   | nvt |   |   | nvt |    |    |    |   |   | nvt |
|   | d   | nvt |   |   | nvt |    |    |    |   |   | nvt |
|   | e   | nvt |   |   | nvt |    |    |    |   |   | nvt |
|   | f   | nvt |   |   | nvt |    |    |    |   |   | nvt |

figuur 4.6: Aantasting van gebiedstypen (0=nihil; 1=gering; 2=matig groot; 3=groot; 4= zeer groot)

grootte van die daling aangegeven per type. De daling is groter naarmate er minder afvoer naar het oppervlaktewater beschikbaar was. Ook is de daling groter in het geval van een hoge drainageweerstand. Wanneer geen lokale afstroming plaats vond, is de daling evenredig met de systeemweerstand.

Naarmate de invloed van de externe ingrepen (groepen II en III) groter wordt zal de hydrologische situatie verschuiven in de richting van volledige wegzijging zonder lokale afstroming. Daarbij worden de volgende stadia achtereenvolgens bereikt:

- a. De kweldruk is dermate hoog dat opkwellend grondwater de wortelzone van de vegetatie of zelfs het maaiveld bereikt. Ook in de zomer is er een voeding van de wortelzone en lokale afstroming.
- b. De kwel bereikt nog wel de wortelzone, maar er is in de zomer geen afstroming meer. Dat is natuurlijk alleen mogelijk wanneer de ontwateringsdiepte gering is.
- c. Er is in de zomer nog wel een opwaartse grondwaterstroming aanwezig, maar het kwelwater treedt uit naar diepere watergangen (slootkwel). Het kwelwater bereikt niet langer de wortelzone. Door het neerslagoverschot zal zich in de winter een regenwaterlens vormen boven het kwelwater.
- d. Gedurende het gehele jaar vindt wegzijging plaats. Alleen 's winters is er afstroming naar het oppervlaktewater.
- e. Gedurende het gehele jaar vindt wegzijging plaats. Alleen in zeer natte tijden is er nog afvoer naar het lokale oppervlaktewater.
- f. Gedurende het gehele jaar vindt wegzijging plaats, terwijl er nooit afstroming naar het oppervlaktewater plaats vindt.

Het is duidelijk dat niet voor alle gebiedstypen de verschillende stadia worden doorlopen. Stadium a is bij voorbeeld alleen mogelijk voor typen Ek, F en G. Type En bevindt zich oorspronkelijk in stadium b of c en kan door aantasting verschuiven naar d, e en uiteindelijk f. In figuur 4.6 zijn de te doorlopen stadia voor de verschillende gebiedstypen aangegeven. Gebieden van type H - geïsoleerde gebieden - kunnen niet worden aangetast door externe ingrepen. Zij zijn immers voorzien van een ondoorlatende onderzijde. Hetzelfde geldt in mindere mate voor type C: de invloed van externe ingrepen zal grotendeels beperkt blijven tot de potentiaal onder de afdichtende laag.

Men is makkelijk geneigd te verschillende stadia te beschouwen als een verschuiving naar een ander gebiedstype. Een aantal kenmerken van de verschillende typen komen inderdaad overeen met aantastingsstadia, maar andere niet. Het verband tussen een aantal kenmerken, zoals in

paragraaf 4.1 beschreven, gaat ook niet langer op. Vandaar dat toch steeds onderscheid moet worden gemaakt tussen gebiedstype en aantasting.

#### **4.4 Huidige situatie**

De huidige hydrologische situatie kan op 2 manieren worden geschat. Voor beide moet tevoren het beschouwde gebied worden ingedeeld naar gebiedstype.

Bij de eerste manier dienen de hydrologische kenmerken, zoals balanstermen, grondwaterstand en drainageweerstand, te worden bepaald. In principe zijn er velerlei methoden om de huidige waarde van de kenmerken te bepalen. Vanuit het toegekende gebiedstype kan echter globaal een waarde van de oorspronkelijke kenmerken worden geschat, terwijl in hoofdstuk 3 een aantal vereenvoudigde technieken zijn aangereikt voor het schatten van de invloed van aantastingen.

De tweede methode komt voort uit de beschrijving van de verschillende aantastingsstadia van paragraaf 4.3. In veel gevallen zal het mogelijk zijn het aangetroffen stadium te herkennen op basis van hydrologische waarnemingen en de toestand van de vegetatie.

Uiteraard verdient het combineren van beide methoden de voorkeur. Beide methoden zijn slechts globaal, maar in combinatie leveren zij een meer betrouwbare schatting.

Oorspronkelijk gebiedstype en huidig aantastingsstadium tezamen vormen de sleutel tot een (globale) selectie van maatregelen tegen verdroging. Deze selectie is het onderwerp van hoofdstuk 6 en het uiteindelijke doel van het voorliggend rapport. Maar eerst zullen in het volgende hoofdstuk 5 de verschillende maatregelen beschreven worden.

## 5 HYDROLOGISCHE MAATREGELEN

### 5.1 Inleiding

In de hierna volgende paragrafen zal de uitwerking van verschillende maatregelen tegen verdroging worden beschreven. Het gaat primair om de uitwerking ten aanzien van de herstelwensen zoals genoemd in hoofdstuk 2, maar er kunnen ook onbedoelde bijwerkingen zijn (die overigens niet altijd schadelijk behoeven te zijn).

Naast de uitwerking zal worden vermeld onder welke voorwaarden de verschillende maatregelen redelijkerwijs in aanmerking komen. Tenslotte zal een ordegrootte van de kosten van de maatregelen worden vermeld, samen met eventuele overige voor- en nadelen. Ten aanzien van de kosten is al in de inleiding vermeld dat het hier gaat om de orde van grootte daarvan. De schattingen zijn opgesteld aan de hand van totaalkosten van gerealiseerde projecten, in vergelijking met de Standaardeenheidsprijzen van de Landinrichtingsdienst [Landinrichtingsdienst, 1994]. Een samenvatting van de globale kostenindicaties is gepresenteerd in bijlage 1. De kosten zijn vermeld om de lezer in indruk te geven van de toepassingsmogelijkheden. De werkelijke kosten voor concrete gevallen hangen van allerlei omstandigheden af. In een verder stadium van een project zal altijd een echte kostenraming moeten worden opgesteld.

De uitwerking en voorwaarden voor de maatregelen zullen worden beschreven aan de hand van de hydrologische kenmerken zoals genoemd in hoofdstuk 3 en zoals gebruikt voor de hydrologische typologie en aantastingsstadia.

De maatregelen zijn onderverdeeld in 8 groepen naar het hydrologische mechanisme van hun werking.

### 5.2 Conserveren van grondwater

Met het conserveren van grondwater wordt bedoeld het belemmeren van de afstroming van grondwater naar het oppervlaktewater. Deze groep van maatregelen heeft uiteraard alleen zin als er afstroming naar het plaatselijke oppervlaktewater is.

#### 5.2.1 Opzetten van het peil

Het opzetten van het peil van het plaatselijke oppervlaktewater komt neer op het verhogen van de lokale drainagebasis.

In figuur 3.3 is het gevolg van peilopzetten grafisch weergegeven. Hoewel uit de figuur blijkt dat het grondwaterpeil evenveel omhoog komt als de lokale drainagebasis zal dat in werkelijkheid

alleen worden gehaald bij een diepe grondwaterstand. Bij een grondwaterstand dicht bij maaiveld zal die stand de peilverhoging veel minder volgen.

Het verhogen van de grondwaterstand gaat gepaard met een toenemende wegzijging (resp. afnemende kwel) en een afname van de lokale afstroming. Uit figuur 3.3 is te zien dat de beoogde verhoging van de grondwaterstand niet kan worden gehaald wanneer "de afstroming opgebruikt" is. Dat is al gauw het geval bij een geringe systeemweerstand (type E of G) of wanneer de afstroming slechts gering was (zoals voor type B of voor aantastingsstadium e).

In een kwelgebied met een geringe systeemweerstand, type Ek of G, kan de kwel omslaan in wegzijging onder invloed van een opgezet oppervlaktewaterpeil.

Opzetten van het peil is niet zo eenvoudig op terreinen met veel relief. Er zijn dan veel stuwen nodig voor de verschillende gewenste peilen. Vaak zal een combinatie van peil opzetten en watergangen dichtten de beste maatregel blijken te zijn, waarmee de terreincontouren optimaal kunnen worden gevolgd. Een opstuwung wordt ook bereikt door het verondiepen van watergangen. Het verschil bestaat uit een droogvallende sloot, die voor sommige natuurdoelen juist wordt nagestreefd.

De kosten van het opzetten van het peil hangen onder andere af van het relief van het gebied. In poldergebieden met een intensief slootstelsel zullen de kosten globaal 2000 tot 4000 gulden per ha. bedragen. In gebieden met een vrije afwatering met meer relief, een minder intensief watergangenstelsel en automatische stuwen in de hoofdwatergangen zullen de kosten in orde van grootte 5000 tot 8000 gulden per hectare zijn (betrokken op het gebied waarin de aanpassingen zijn gelegen; het beïnvloede gebied is hier vaak veel groter).

Verhoging van het oppervlaktewaterpeil brengt een verminderde afstroming naar het oppervlaktewater mee. Dat is mogelijk een bezwaar voor de gewenste voeding van (benedenstroomse) waterlopen.

Als gevolg van de verhoogde grondwaterstand zal een perifere afstroming op gang kunnen komen of toenemen. Perifere afstroming vertegenwoordigt dus niet alleen een wijze van hydrologische aantasting, maar wordt ook gegenereerd door een hoger grondwaterpeil in het beschouwde gebied. De bedoelde verhoging kan overigens ernstig bedreigd worden door de perifere afstroming die hij teweeg brengt: die kan dermate groot zijn dat de afstroming naar het oppervlaktewater er volledig door wordt weggenomen. De stijging van de grondwaterstand is daardoor dan ook gelimiteerd.

De perifere afstroming betekent een uitstroming uit het beschouwde gebied, maar een toestroming naar aanliggende terreinen. Vaak zal die extra toestroming daar wateroverlast veroorzaken. Uiteraard is alleen sprake van wateroverlast wanneer de perifere afstroming is ontstaan als bijwerking van peilverhoging. Perifere afstroming als verdroging veroorzakende verlaging van het peil in de omgeving resulteert natuurlijk niet in wateroverlast.

Vernattingsschade en de maatregelen waarmee perifere afstroming kan worden tegengegaan worden besproken in paragraaf 5.4.

### 5.2.2 Dichten van watergangen

Het dichten van watergangen komt neer op het verhogen van de drainageweerstand. De uitwerking van die verhoogde weerstand is grafisch weergegeven in figuur 3.4. Daaruit is onder andere te zien dat het effect van een verhoogde drainageweerstand sterk afhangt van de lokale afstromingscomponent. Wanneer weinig grondwater afstroomt naar het lokale oppervlaktewater (type A en B, of stadium d en e) heeft verhoging van die weerstand geen zin.

Het resultaat van een verhoogde drainageweerstand is een verhoogde gemiddelde grondwaterstand, terwijl ook de fluctuaties zullen toenemen.

De wegzijging zal ook toenemen, terwijl kwel en afstroming naar het oppervlaktewater af zullen nemen, afhankelijk van de systeemweerstand en geheel identiek aan het gedrag bij opzetten van het peil (zie paragraaf 5.2.1).

Ook door deze maatregel kan kwel omslaan in wegzijging, in het geval van een lage systeemweerstand.

Een alternatief voor het volledig dichten van watergangen is het verkleinen van het profiel, het bevorderen van begroeiing door het achterwege laten van onderhoud en zelfs het weer toelaten van meandering, zie de paragrafen 5.2.3 en 5.2.4. Het hydrologisch gedrag komt steeds neer op een verhoogde drainagebasis.

De consequenties van het dichten van watergangen betreffende verminderd afvoerdebiet, perifere afvoer en resulterende wateroverlast bij de burens zijn identiek aan die voor peil opzetten, zie paragraaf 5.2.1.

De kosten van het dempen van sloten hangen sterk af van de eisen aan egalisatie na het dempen en aan het voorkomen van natuurschade. In orde van grootte komen de kosten neer op 30 tot 150 gulden per m<sup>1</sup> watergang.

### 5.2.3 Vergroten van de weerstand van watergangen

De weerstand van de watergangen kan verhoogd worden door het verkleinen van het doorstroombare profiel van de watergang (redimensionering) of door het verminderen of geheel achterwege laten van onderhoud aan de watergangen.

De afvoercapaciteit zal er door afnemen, het grondwaterpeil toenemen en de watervoerendheid van de watergangen bevorderen. Met het vergroten van de weerstand van de watergangen wordt

daarom over het algemeen ook voorzien in herstelwens E (watervoerende watergangen).

Het verhogen van de weerstand van watergangen heeft een effect op de grondwaterstand dat te vergelijken is met het effect van het verhogen van de drainagebasis.

#### **5.2.4 Meandering**

Met (hernieuwde) meandering worden watergangen verlengd, terwijl de afvoercapaciteit ook afneemt door het meer natuurlijke profiel. Meandering heeft grotendeels hetzelfde effect als het verhogen van de weerstand van watergangen, zie paragraaf 5.2.3.

Hermeandering, inclusief natuurlijke inrichting van een waterloop zal 200 tot 500 gulden per meter kosten, geheel afhankelijk uiteraard van het profiel van de waterloop.

### **5.3 Conserveren van opkwellend grondwater**

#### **5.3.1 Begreppelen**

Onder invloed van diepere ontwatering in een oorspronkelijk kwelgebied is de kwaliteit van het bovenste grondwater veranderd. Waar eerst opkwellend lithoclien water de wortelzone bereikte zal er zich een regenwaterlens hebben gevormd boven het kwelwater. Beide worden afgevoerd naar het verdiepte ontwateringsstelsel; men spreekt van "slootkwel".

In dat geval is waterconservering alleen onvoldoende voor herstel. Tevens moet de gevormde regenwaterlens worden teruggedrongen door te verhinderen dat regenwater de bodem indringt. Men bereikt dat (in aanvulling op conservering volgens paragraaf 5.2) door de aanleg van ondiepe greppels of door het maaiveld van de percelen een bolle vorm te geven.

De kosten zijn vanwege de nauwkeurige aanleg vrij hoog: enkele duizenden gulden per ha.

Door alleen diepere ontwatering blijft de kweldruk onaangetast. Door andere oorzaken (II of III, zie paragraaf 4.3) is het echter mogelijk dat de kweldruk dermate is afgenomen dat de kwel het maaiveld niet meer bereikt. De ondiepe afstroming van regenwater zal dan niet lukken. Bij onvoldoende kweldruk zullen aanvullende maatregelen nodig zijn uit de groepen die in paragrafen 5.4 en 5.5 en 5.6.2 zijn beschreven. Eventueel kan het maaiveld worden verlaagd, zie paragraaf 5.8, om de kweldruk (ten opzichte van maaiveld) te verhogen. Afgraven is des te aantrekkelijker als ook herstelwens D (verwijderen verrijkte laag) wordt gevraagd.



## 5.4 Beperken van de afstroming naar de omgeving

### 5.4.1 Inleiding

De perifere afstroming speelt een belangrijke rol in de meeste verdrogingsgevallen. Die rol heeft kan echter 2 vormen hebben:

Door een lager omgevingspeil (meestal voor landbouwdoeleinden) is een perifere afstroming op gang gekomen, waardoor de grondwaterstand in het natuurgebied is gedaald. Het beperken van de perifere afvoer zal in dit geval een op zich zelf staande herstelmaatregel zijn.

Onder invloed van een herstelmaatregel in het natuurgebied wordt aldaar de grondwaterstand verhoogd, waardoor een perifere afstroming op gang komt. De herstelinspanning kan daardoor ernstig gefrustreerd worden. In dit geval zal het beperken van de perifere afvoer een aanvullende herstelmaatregel zijn.

Daarnaast kunnen in dit geval de buren vernattingschade ondervinden. Een grondwaterstand die gedurende het gehele jaar hoger is resulteert in extra wateroverlast in het winterseizoen en in verminderde droogteschade in de zomer. Per saldo - en in orde van grootte - resulteert een verhoging van 10 cm vanuit de optimale grondwaterstand in een schade van 50 tot 250 gulden per ha per jaar, afhankelijk van de grondwatertrap, gewas en grondsoort [G.J. Koerselman et al., 1987].

De vernattingschade kan ook worden ondervangen door de aanleg of aanpassing van drainage. De kosten daarvan bedragen rond de 2000 tot 4000 gulden per ha.

Het relatieve belang van de perifere afstromingscomponent in de waterbalans hangt grotendeels af van de doorlatendheid van de ondiepere ondergrond (meters tot tientallen meters). Deze doorlatendheid wordt niet eenduidig bepaald door het hydrologische gebiedstype (zie hoofdstuk 4). De effectiviteit van de verschillende maatregelen kan daardoor niet worden beschreven aan de hand van het hydrologische type. De "weerstand tegen perifere afstroming" van een gebied vormt een afzonderlijke parameter, die aanvullend op het gebiedstype bepaald moet worden. In hoofdstuk 3 is aangegeven waardoor die weerstand - globaal - is bepaald.

### 5.4.2 Verhogen van het omgevingspeil

Een reductie van de perifere afstroming wordt bereikt met een verhoging van het peil in aanliggende gebieden. Daar lijkt vaak ruimte voor te zijn vanwege de wel zeer intensieve ontwatering in het verleden. Vandaag de dag komt men daar enigszins op terug, niet alleen vanwege natuurbelangen, maar ook omdat die drooglegging voor de landbouw minder dan optimaal is gebleken. Daarnaast kan eventuele schade worden vergoed of gecompenseerd. Soms

is een hogere grondwaterstand toelaatbaar door opstellen van een alternatief bouwplan met andere gewassen.

Het effect van de hogere grondwaterstand kan beperkt worden door een meer subtiele manier van peilbeheer. Het gaat zowel om de ruimtelijke variatie als om peilbeheer in de tijd.

#### ruimtelijke optimalisatie

In gebieden met wat meer reliëf wordt het peil nogal eens afgestemd op de lagere delen van een peilvak. Met een meer subtiele indeling kan een hoger peil worden ingesteld zonder dat dat tot schade leidt. Uiteraard moeten meer stuwen geplaatst worden, zal het leidingstelsel wat aangepast moeten worden en zal hier en daar niet aan onderbemaling kunnen worden ontkomen. Met een ruimtelijke optimalisatie van peilen zullen kosten gemoeid zijn in orde van grootte van duizend tot enkele duizenden gulden per ha, afhankelijk van het reliëf en de bestaande verfijning. Het is mogelijk dat enige vernattingschade ontstaat die moet worden vergoed of gecompenseerd.

#### Optimalisatie in de tijd

Peilen kunnen in de tijd variabel worden ingesteld, evenals het moment van peilverandering. Peilen en momenten kunnen afhankelijk zijn van de gerealiseerde neerslag en van de neerslagvoorspelling (die bij gebrek aan beter gekoppeld is aan de tijd van het jaar). Daarnaast kan gestuurd worden aan de hand van gemeten grondwaterstanden.

In een eenvoudige vorm wordt het moment van opzetten naar het zomerpeil met grote oplettendheid gekozen. Dat zal neerkomen op het aanvaarden van enig risico ten aanzien van vernattingschade; deze moet wellicht worden vergoed.

Een geavanceerde vorm bestaat uit zogenaamd operationeel peilbeheer. Hierbij worden stuwpeilen regelmatig bijgesteld aan de hand van metingen van neerslag en grondwaterstanden. De vertaling van die metingen naar optimale peilen kan al dan niet aan de hand van (grond)watermodellering gebeuren.

Operationeel peilbeheer vraagt ook aanpassingen aan stuwen en wellicht aan het leidingstelsel. Die aanpassingen bedragen wellicht honderden gulden per ha (voor een reeds optimaal ingericht gebied), terwijl de operationele kosten van het intensievere beheer enkele gulden per ha per jaar zullen bedragen. Alles weer in orde van grootte, uiteraard. Daarbij is aangenomen dat de operationele sturing op vrij grote schaal zal plaats vinden: op kleinere schaal zullen de kosten al gauw niet meer lonend zijn en zal men zich moeten beperken tot ruimtelijke optimalisatie met vaste stuwen.

### inlaat

In veel gevallen zal een hoger peil in de zomer alleen kunnen worden bereikt met inlaat van water van elders. Daartoe moet dan wel de mogelijkheid bestaan en vaak zullen aanpassingen in de infrastructuur nodig zijn. De kosten van die aanpassingen bedragen wellicht duizend tot enkele duizenden guldens per hectare; de daadwerkelijke aanvoer komt op 3 tot 7 cent per m<sup>3</sup>. De kosten hangen af van de schaal van wateraanvoer en van de afstand waarover het water aangevoerd moet worden.

#### **5.4.3 Beperken van beregening**

Een lager omgevingspeil met bijbehorende perifere afstroming kan zijn veroorzaakt door beregening. In dat geval is een beperking van die beregening een mogelijke herstelmaatregel.

De rendabiliteit van beregening is onderwerp van voortdurende discussie. Ook de eventuele schade veroorzaakt door een beperking er van is dus moeilijk te schatten. Het lijkt onwaarschijnlijk dat die schade meer dan enkele honderden guldens per ha per jaar kan bedragen, meestal zal het veel minder zijn.

#### **5.4.4 Instellen van een bufferzone**

Een bufferzone bestaat uit een strook grond om een natuurterrein waarin de grondwaterstand geleidelijk verloopt van het hogere peil in het terrein naar het lagere in de omgeving. Natuur noch landbouw zal daar optimaal bediend worden. De bufferzone kan beschouwd worden als een marginale rand van het natuurterrein of als een gebied waar landbouw niet optimaal bedreven kan worden. De perifere afstroming zal afnemen onder invloed van het geringere grondwaterverhang.

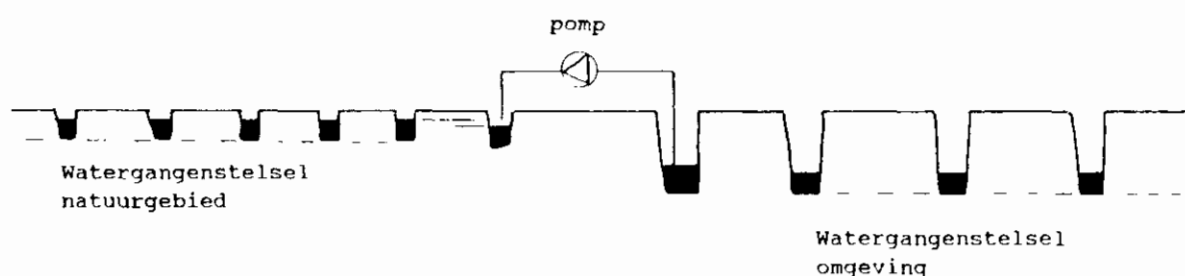
In het geval van terreinen van geringe afmeting en van zeer doorlatende grond zal een bufferzone al gauw onevenredig breed worden en niet in aanmerking komen. Ook zal de breedte van de strook relatief groot zijn in het geval de perifere afstroming plaats vindt via een scheidende laag door een onderliggend watervoerend pakket.

Meestal worden in bufferzones beheersovereenkomsten gesloten. Landbouwers ontvangen dan een vergoeding voor het achterwege laten van ingrepen die ongewenst zijn voor de nabije natuur. Dat kan het laten bestaan van een te hoge grondwaterstand zijn, maar vaak gaat het (ook) om verstorende, verzurende en vermestende ingrepen. De jaarlijkse vergoeding bedraagt 200 tot 300 gulden per hectare.

#### 5.4.5 Terugpompen

De perifere afstroming kan buiten het gebied worden opgevangen en weer teruggepompt. De meest eenvoudige constructie daartoe bestaat uit een ringsloot met een peil net even boven het peil van de omgeving. Daarmee wordt voorkomen dat omgevingswater, dat meestal van ongewenste kwaliteit is, wordt aangetrokken. Vanuit de ringsloot wordt het water teruggevoerd het gebied in. De totale kosten zullen meestal niet meer dan enkele centen per m<sup>3</sup> bedragen.

Wanneer vermenging met omgevingswater niet voorkomen kan worden kan voor een constructie zoals geschetst in figuur 5.1 worden gekozen. Het peil in de binnenste ringsloot mag niet hoger zijn dan dat in het natuurgebied. Daarmee wordt voorkomen dat gebiedsvreemd water het terrein binnendringt. De aanlegkosten zijn uiteraard hoger: 1000 tot 2000 gulden per hectare, in orde van grootte.



Figuur 5.1: Terugpompen met dubbele ringsloot

#### 5.4.6 Aanbrengen van een scherm

De perifere afstroming kan in een aantal gevallen beperkt worden door middel van een afdichtende constructie in de doorlatende ondergrond. Vaak zal deze oplossing erg kostbaar blijken te zijn. De omtrek van grote gebieden is relatief gering (waardoor de perifere afstroming ook niet zo groot is) maar absoluut groot, waardoor een het aanbrengen van een scherm een kostbaar karwei wordt. Kleine gebieden hebben natuurlijk een overzienbare omtrek, maar de te behalen natuurwinst is maar gering. Een scherm zou te overwegen zijn in het geval van een weg of spoorlijn door een nat natuurgebied.

Juist het heien in doorlatende (zand)grond is zwaar werk, waardoor tot voor kort lichte kunststofconstructies meestal niet in aanmerking kwamen. Sinds kort bestaat de techniek van het aanbrengen van een verticale folie tot een diepte van een meter of 6 met behulp van een sleuvenmachine. De techniek is ontwikkeld vanuit de diepe drainagemachines. De kosten van een dergelijke foliewand bedragen rond de 200 gulden per m<sup>1</sup>.

#### **5.4.7 Aanpassen van de vorm/grootte van het gebied**

In hoofdstuk 3 is uitgelegd dat de perifere afstroming onder andere afhangt van de afmeting en de vorm van het betreffende terrein. Kleine terreinen ondervinden relatief hoge perifere afstroming. Langgerekte vormen zijn nadelig. Ingesloten of bijna ingesloten gebieden met een lager peil zijn heel onvoordelig.

Vaak is het aankopen van dergelijke ingesloten gronden aantrekkelijker dan allerlei waterhuishoudkundige maatregelen. Landbouwgronden worden verhandeld voor prijzen variërend van 25.000 gulden per ha. voor marginale gronden tot 200.000 voor bij voorbeeld zeer goede bollengrond.

### **5.5 Reductie van onttrekkingen**

Met onttrekkingen worden hier diepe onttrekkingen bedoeld, waarmee op grotere diepte en binnen in het grondwatersysteem water wordt onttrokken. Oppervlakkige onttrekkingen en infiltraties die plaats vinden aan de instroom- of uitstroomzijde van het systeem worden elders behandeld.

#### **5.5.1 Reductie van permanente onttrekkingen**

In paragraaf 3.5 van dit rapport is aangegeven hoe "met de natte vinger" de potentiaaldaling bij een permanente onttrekking kan worden geschat. In de meeste gevallen zal het op die manier echter niet mogelijk zijn een voldoende beeld te krijgen van de invloed van de onttrekking. Daartoe moet een hydrologische studie van het betreffende gebied worden gemaakt.

Met de reductie van een onttrekking wordt over het algemeen bereikt dat de grondwaterstand in wegzijgebieden omhoogkomt, dat de grens van grondwaterafhankelijke situaties hoger op de helling komt te liggen en dat kwelgebieden in sterkere mate of zelfs weer opnieuw worden gevoed met lithoclien grondwater.

De mate waarin de bovengenoemde effecten optreden hangt af van de gedetailleerde hydrologische situatie. Omdat reductie van winningen diep in het systeem aangrijpt zal het effect aan de oppervlakte van grotere schaal zijn dan bij oppervlakkige maatregelen. De winst die met onttrekkingsreductie bereikt kan worden hangt af van de uitgestrektheid van de natuurwaarden. Elders in het beïnvloede gebied veroorzaakt de hogere grondwaterstand wellicht alleen maar vernattingschade. Hoewel onttrekkingsreductie met name voor het terugkeren van diepe kwel een zeer voor de hand liggende maatregel lijkt, is zijn effect ruimtelijk dus weinig specifiek.

Het beperken van een onttrekking is een kostbare aangelegenheid. Het onttrokken water zal op een andere manier moeten worden verkregen. Het verplaatsen van een onttrekking van de

openbare drinkwatervoorziening zal eenmalige kosten meebrengen die in orde van grootte 10 tot 20 mln gulden per mln m<sup>3</sup>/jaar bedragen (hierin is een nieuwe transportleiding begrepen). Wanneer de onttrekking naar grotere diepte wordt gebracht (de invloed wil dan wel eens minder zijn) en slechts deelaanpassingen aan de zuivering nodig zijn, zullen die kosten ruwweg 3 tot 7 mln gulden bedragen.

De kosten zullen nog hoger zijn wanneer de vervangende voorziening oppervlaktewater als bron heeft. Dat zal steeds vaker voorkomen.

### 5.5.2 Kunstmatige infiltratie van water

Recentelijk is ook het compenseren van de onttrekking binnen het grondwatersysteem haalbaar gebleken. Dat gebeurt dan door middel van zogenaamde diepinfiltratie. De eenmalige kosten daarvan bedragen 15 tot 25 mln gulden per mln m<sup>3</sup>/jaar, terwijl in er in dit geval ook aanvullende operationele kosten zijn.

Kunstmatige oppervlakkige infiltratie wordt al langer toegepast, met name in de duinen. Deze techniek zal waarschijnlijk niet toepasbaar zijn voor het compenseren van de invloed van bestaande winningen. Wel wordt overwogen nieuwe grondwateronttrekkingen te koppelen aan kunstmatige oppervlakkige infiltratie.

Hier en daar wordt het beheer van oppervlaktewater en het regime van grondwateronttrekking op elkaar afgestemd met het oog op beperking van de verdroging.

## 5.6 Oppervlakkige aanvoer van water

### 5.6.1 Inlaat

Stelsels van watergangen hebben meestal de afvoer van water tot doel. Water kan er echter ook - in de zomer - mee worden ingelaten. Dat vraagt uiteraard wel om aanpassingen aan de infrastructuur zoals pompwerken, stuwen en leidingen.

Thema 10 van het Nationaal Onderzoekprogramma Verdroging [Tauw Civiel en Bouw, 1995] heeft juist de effecten van inlaat van gebiedsvreemd water als onderwerp. Hieronder wordt daarom slechts summier op inlaat ingegaan.

Met de inlaat wordt in ieder geval voorzien in herstelwens E (watergangen watervoerend). Een verhoging van de grondwaterstand is echter minder vanzelfsprekend. In veel gevallen zal het opgezette oppervlaktewater slechts als barrière tegen afstroming van grondwater dienen; het oppervlaktewater zal nauwelijks de grond in dringen. Inlaat dient dan als instrument voor grondwaterconservering.

Vanwege de geringe indringing wordt de kwaliteit van het inlaatwater veelal voorgeschreven door de eisen van het aquatische ecosysteem. Het mag niet verontreinigd zijn, moet vaak voedselarm zijn, terwijl nadrukkelijke eisen aan de hardheid worden gesteld, afhankelijk van de aard van het ecosysteem. Overigens kan ook de verbreiding van het gebiedsvreemd water in het oppervlaktewaterstelsel beperkt worden door in te laten via een eenduidige bepaalde route zodat minimale vermenging plaats vindt.

Wanneer het doel van inlaat wel degelijk een aanvulling van het grondwater is, zal de infiltratieweerstand (het omgekeerde van de drainageweerstand) moeten worden vermindert door het vergroten van het contactvlak tussen watergangen en bodem. Dat betekent meer en ruimere watergangen. In sommige gevallen is de infiltratieweerstand van oorsprong al laag vanwege de zeer doorlatende ondergrond of vanwege een bestaand intensief drainagesysteem.

Op de kwaliteit van het inlaatwater kan op een aantal manieren invloed worden uitgeoefend. De bedoeling is steeds dat het water zo veel mogelijk gelijkenis heeft met het gebiedseigen water. Een aantal voorbeelden:

water van goede kwaliteit is misschien binnen redelijke afstand voorhanden, maar wordt vervolgens minder geschikt door vermenging met andere wateren; die vermenging kan wellicht worden voorkomen door aanpassingen aan het afstromingsregime;

gebiedseigen water dat in de winter tot afstroming komt kan wellicht worden gespaard in open water en in de zomer weer ingelaten;

inlaatwater kan worden behandeld, bij voorbeeld met het oog op het verwijderen van nutriënten of het verhogen van de pH;

gebruik kan worden gemaakt van het zelfzuiverend vermogen van wateren, bij voorbeeld in helofytenfilters of alleen al door het water een langere weg te laten afleggen alvorens het kwetsbare delen bereikt.

De kosten van inlaat zullen in orde van grootte zo'n 3 tot 10 cent per m<sup>3</sup> bedragen, afhankelijk vooral van de noodzaak van zuivering en van de schaal. Daarnaast moeten soms infrastructurele aanpassingen worden aangebracht, met kosten die op enkele honderden guldens per ha. kunnen uitkomen.

### **5.6.2 Inlaat van water met kwelkwaliteit**

Water van kwelkwaliteit moet ook werkelijk in de wortelzone gebracht worden en dat is niet eenvoudig. Hier boven zagen we al dat inlaatwater vaak nauwelijks de grond indringt. Zelfs met een intensief stelsel van watergangen zal zich meestal toch een regenwaterlens op het geïnfiltreerde water vormen.

Oppervlakkige injectie van kwelwater, zoals wel eens wordt voorgesteld, lijkt onhaalbaar. Er zijn aanwijzingen dat met periodieke inundatie in sommige gevallen een afdoende basenverzadiging kan worden bereikt.

Water van kwelkwaliteit kan misschien op kleine schaal aan diepere aquifers worden onttrokken. Ook kan uitgeslagen water van nabijgelegen polders worden gebruikt. Voor inundatie kan soms ook hard, schoon en voedselarm oppervlaktewater worden gebruikt.

Inlaat van baserijk water is slechts een uiterste redmiddel, wanneer de oorspronkelijke kwel echt niet meer hersteld kan worden.

### **5.7 Vergroten van de berging (in het oppervlaktewater)**

Het vergroten van de berging (in oppervlaktewater) wordt overwogen wanneer de fluctuatie van de grondwaterstand moet worden verminderd - herstelwens B.

Deze herstelwens komt overeen met een verhoging van lage grondwaterstanden in de zomer. Meestal betreft het vegetaties die niet alleen in het voorjaar maar vrijwel permanent nat moeten staan zoals venen. Bij laagveen wordt die situatie bereikt door aanvoer van kwel. Levend hoogveen voorziet zelf in een zeer hoge berging; bij het ontwikkelen van hoogveen moet de berging tijdelijk kunstmatig verhoogd worden door het vergroten van de berging in oppervlaktewater. De maatregel komt neer op het aanleggen van permanent watervoerende waterpartijen met een groot oppervlak. Tevens zal het kontaktoppervlak met de aanliggende gronden moeten worden verhoogd. Het vergrote oppervlak open water zal dus fijnmazig verdeeld moeten zijn.

Het vergroten van het open water oppervlak kan ook gewenst zijn wanneer de oorzaak van de aantasting een verhoogde fluctuatie van het grondwaterpeil heeft veroorzaakt. Alleen de tijdelijke onttrekkingen voor beregening veroorzaken een verlaging juist in de zomer en verhogen aldus de fluctuatie. Het vergroten van het oppervlak open water kan dus ook zinvol worden aangewend ter compensatie van beregeningsonttrekkingen.

Extra open water wordt vaak voorgeschreven door de waterbeheerder om pieken in de afwatering vanuit stedelijk gebied te beperken. Die open water partijen hebben vaak een verlaagd peil vanwege de gewenste drooglegging in die gebieden en veroorzaken over het algemeen verdroging in plaats van herstel. Het open water met als doel herstel moet op een geheel andere manier worden ingericht.

De kosten van het aanbrengen van aanmerkelijke oppervlakken open water zullen in orde van grootte 5000 gulden per ha. bedragen.



## 5.8 Afgraven van het maaiveld

Het verlagen van het maaiveld is een maatregel die kan worden overwogen wanneer de grondwaterstand is gedaald door oorzaken die buiten het terrein zijn gelegen (oorzaak II of III). De daling kan ongedaan worden gemaakt door een even grote verlaging van het maaiveld. Maaiveldverlaging zal alleen in aanmerking komen wanneer tevens een verrijkte bovenlaag verwijderd moet worden - herstelwens D.

De kosten van afgraven hangen af van de schaal waarop het gebeurt en van de afstand tot de bestemming van de afgegraven grond. Ruwweg moet rekening worden gehouden met 10 tot 20 gulden per m<sup>3</sup>.

## 5.9 Grootschalige maatregelen

Het voorliggend rapport betreft herstelmaatregelen voor specifieke gebieden. Daarom komen alleen maatregelen in aanmerking met een gerichte uitwerking. Hieronder worden toch enkele maatregelen genoemd die weliswaar onvoldoende rendement voor een specifiek gebied opleveren, maar wel degelijk zinvol kunnen zijn als algemene maatregel tegen verdroging.

De maatregel bestaan steeds uit het wegnemen van grootschalige oorzaken van verdroging, en moeten dus eveneens grootschalig worden uitgevoerd:

Verloofing: het vervangen van naaldbossen door loofbos, dat een grotere grondwatervoeding levert.

Peilverhoging in kwelgebieden: hiermee kan worden bereikt dat de grondwaterstanden in de ruime omgeving op den duur omhoog komen. In het kwelgebied zelf kan de maatregel uiteraard wel een gerichte uitwerking hebben.

Neerslaginfiltratie: het voorkomen dat een te groot deel van de neerslag snel wordt afgevoerd naar watergangen en riolen.

Besparing op (drink)waterverbruik.



## 6 SELECTIE VAN MAATREGELN

### 6.1 Inleiding

In de voorgaande hoofdstukken is uitgelegd dat de keuze van maatregel in een concreet geval afhangt van:

- de herstelwens;
- het oorspronkelijke gebiedstype;
- de oorzaak van de aantasting en het aantastingsstadium;
- de weerstand tegen perifere afvoer.

De oorzaak van de aantasting (paragraaf 4.3) blijkt de meest eenvoudige ingang te zijn van een beslisboom voor selectie van maatregelen.

- I diepere ontwatering van het terrein zelf;
- II ingrepen die een perifere afstroming hebben veroorzaakt;
- III ingrepen die de weerstand tegen wegzijging (respectievelijk de kweldruk) hebben verlaagd.

De diepere ontwatering van het terrein zelf is een "interne" oorzaak; maatregelen worden aangegeven in paragraaf 6.2. De oorzaken II en III tezamen worden de "externe" oorzaken genoemd en worden behandeld in paragraaf 6.3.

Twee maatregelen blijven onbelicht in de hiernavolgende beslisboom vanwege de bijzondere aard van de situaties waarin die maatregelen in aanmerking komen. Het gaat om het vergroten van het oppervlak open water en het verlagen van het maaiveld. In de paragrafen 5.7 en 5.8 zijn die situaties echter al uitgelegd.

### 6.2 Maatregelen bij aantasting door diepere ontwatering

Aantasting I, ontstaan door diepere ontwatering van het terrein zelf, kan relatief eenvoudig hersteld worden door de diepere ontwatering ongedaan te maken. De bijbehorende maatregelen zijn beschreven in de paragrafen 5.2 en 5.3. Daarin zijn tevens de omstandigheden vermeld

waaronder bepaalde maatregelen de voorkeur verdienen boven andere (conserverings)-maatregelen.

Meestal zullen aanliggende terreinen eveneens dieper ontwaterd zijn. Bij het ongedaan maken van de ontwatering op het beschouwde terrein zal een perifere afstroming worden gegenereerd afhankelijk van de weerstand daartegen. Als secundaire maatregel is dan het tegengaan van perifere afstroming nodig. Deze groep van maatregelen is behandeld in paragraaf 5.4. Ook zijn daarin aangegeven de omstandigheden waaronder bepaalde maatregelen voorkeur verdienen boven andere binnen die groep.

### **6.3 Maatregelen in het geval van externe oorzaken**

De aantasting door externe oorzaken zijn steeds van dezelfde soort, zoals uitgelegd in paragraaf 4.3. De aantasting wordt beschreven aan de hand van een zes-tal aantastingsstadia a t/m f. De hydrologische situatie zal in de volgende paragrafen worden bepaald aan de hand van het gebiedstype en het aantastingsstadium, zoals weergegeven in figuur 6.1. Soortgelijke figuren zullen in de volgende paragrafen worden ingevuld voor verschillende verdrogingsoorzaken.

De figuren gelden voor herstelwens A (verhoging GVG). Voor de kweltypen is tevens aangegeven welke maatregelen genomen kunnen worden om zowel herstelwens A als C (kwel naar maaiveld) te bereiken. De oorzaak heeft over het algemeen geen vergroting van het fluctuatietraject veroorzaakt, zodat herstelwens B niet gevraagd zal worden.

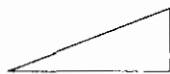
Niet alle combinaties van gebiedstype en aantastingsstadium komen in werkelijkheid voor, zoals reeds uitgelegd in paragraaf 4.3 en figuur 4.6. De horizontaal gearceerde combinaties vervallen daardoor. Combinatie A1/f komt weliswaar voor, maar leidt niet tot verdroging omdat de vegetatie niet grondwaterstandsafhankelijk is.

Daarnaast zal aantasting door externe oorzaken niet mogelijk zijn bij type H (geïsoleerd gebied) en slechts in zeer geringe mate bij type C (weerstandbiedende laag op geringe diepte).

Wanneer stadium e of f is bereikt vindt (bijna) geen lokale afstroming meer plaats. Conservering van afstromend grondwater komt dus niet meer in aanmerking.

De legenda van de ingevulde figuren is aangegeven in figuur 6.5. De genoemde maatregelen zijn de meest voor de hand liggende voor de geschematiseerde situatie. In een aantal gevallen wordt verwezen naar een groep van maatregelen, waaruit een nadere selectie moet worden gemaakt met behulp van hoofdstuk 5.

|    | a | b   | c   | d   | e   | f   |
|----|---|-----|-----|-----|-----|-----|
| A1 |   |     |     |     |     |     |
| A2 |   |     |     |     |     |     |
| B  |   |     |     |     |     |     |
| C  |   |     |     |     |     |     |
| D  |   |     |     |     |     |     |
| Ew |   |     |     |     |     |     |
| En |   |     |     |     |     |     |
| Ek |   | /// | /// | /// | /// | /// |
| F  |   | /// | /// | /// | /// | /// |
| G  |   | /// | /// | /// | /// | /// |
| H  |   |     |     |     |     |     |



alleen voor kwelgebieden: maatregelen voor het geval tevens kwelwater in de wortelzone is gewenst, naast verhoogde grondwaterstand.

Fig. 6.1: Mogelijke aantasting per gebiedstype

### 6.3.1 Maatregelen bij aantasting door een lager omgevingspeil

De maatregelen in het geval van aantasting door een lager omgevingspeil (dus door perifere afvoer, oorzaak II) zijn aangegeven in figuur 6.2.

Aantasting II kan alleen hebben plaats gevonden wanneer de weerstand tegen perifere afstroming laag was, dus in het geval van kleine terreinen met een relatief grote omtrek en/of gelegen op matig of goed doorlatende grond. Maatregelen zullen dan het beperken van die perifere afstroming moeten beogen. Andere grondwaterstandsverhogende maatregelen zouden die perifere afstroming immers alleen maar vergroten: de maatregel zou een versterking van de oorzaak oproepen.

Type F (kwelgebied met een dikke afdeklaag) is niet gevoelig voor aantasting II; de weerstand tegen perifere afstroming zal namelijk in alle gevallen hoog zijn.

Aantasting II kan ook zijn veroorzaakt door beregeningsonttrekkingen "bij de burens". In dat geval is voornamelijk de zomergrondwaterstand gedaald, waardoor de herstelwens wellicht tevens B (lager fluctuatietraject) is. In combinatie met de maatregelen van figuur 6.2 zou dan ook het vergroten van de berging in oppervlaktewater kunnen worden overwogen.

### **6.3.2 Maatregelen bij aantasting van wegzijging en kwel**

Aantasting met oorzaak III heeft niet alleen op het beschouwde terrein plaats gevonden, maar ook bij de burens. De invloed van de ingreep is immers niet tot het terrein beperkt. Het wegnemen van de oorzaak - een geconcentreerde grondwateronttrekking of een grootschalige verlaging van peilen of instroming - is vaak een weinig "rendabele" maatregel omdat de baten er van alleen het beschouwde terrein betreffen. Bovendien is de (landbouw)omgeving wellicht niet erg gelukkig met de vernatting. De in aanmerking komende maatregelen zijn aangegeven in figuur 6.3.

Ook in dit geval kunnen grondwaterstandsverhogende maatregelen een perifere afstroming op gang brengen (in gevallen waar de weerstand daartegen laag is). Het effect van de maatregel is daardoor lager en bij de burens kan vernatting optreden. Vaak zullen dus tevens maatregelen moeten worden genomen om de perifere afstroming te beperken; de bijbehorende maatregelen zijn aangegeven in figuur 6.4.

## **6.4 Discussie**

Het zal blijken dat de werkelijkheid veel weerbarstiger is dan de gehanteerde schematisatie. Twee aspecten daarvan worden hier uitgelicht:

- \* De ruimtelijke verdeling van hydrologisch type en aantastingsstadium zijn niet in aanmerking genomen. Steeds is en wordt aangenomen dat van een gebied het type eenduidig bepaald kan worden. In de praktijk is dat niet zo. Het beschouwde gebied kan bij voorbeeld op of nabij de grens met een ander type zijn gelegen. Of het beschouwde gebied is opgebouwd uit delen van verschillend type of aantasting.
- \* De oorzaak van de aantasting is lang niet altijd van een soort, maar zal bij voorbeeld voor een deel bestaan uit een onttrekking en voor een ander deel uit een peilverlaging in de omgeving.

De geselecteerde maatregelen in de vorige paragrafen gelden voor een uniform gebiedstype, aantastingsstadium en aantastingsoorzaak. De gebruiker zal deze bouwstenen met gezond verstand en fantasie moeten gebruiken in praktijksituaties.

Als illustratie wordt het gebied van de Dwingeloose Heide, zoals eerder beschreven in hoofdstuk 4, beschouwd:

Een terreindeel in het noordoosten van figuur 4.5, met oorspronkelijk type Ek, is indertijd dieper ontwaterd door middel van een aangelegde watergang en sindsdien in gebruik als landbouwgrond. De omgeving van dit landbouwdeel is daardoor verdroogd: met name de hoge voorjaarsstanden kwamen niet meer voor. Daarnaast is het peil van de Ruiner Aa in de loop der tijd verlaagd met als doel een diepere ontwatering in de ruimere omgeving. Ook het direct aan de Aa gelegen natte gebiedje de Hoorns werd ontwaterd. Onder invloed van die verlaagde peilen vielen een aantal slenken eerder droog in het centrale deel van figuur 4.5, met type En en Ew. Die stonden immers in nauw hydraulisch contact met de Ruiner Aa.

De diepere ontwatering in het noordoostelijke landbouwdeel kan ongedaan worden gemaakt door het dichtn van de ontwaterings-sloot. De landbouw kan worden uitgekocht of er kan een beheersovereenkomst worden aangegaan. Voor het gebiedsdeel zelf komt de maatregel neer op conservering van grondwater, voor de omgeving op een beperking van de perifere afvoer.

De aantasting van het centrale plassengebied werd veroorzaakt door een verlaging van het omgevingspeil (in de Ruiner Aa en de Hoorns). De perifere afvoer kan worden beperkt door het dichtn van watergangen in de Hoorn, met eventueel uitkoop van de landbouw. Daarnaast kan het peil van de Ruiner Aa worden opgezet. Hier zou een operationeel beheer kunnen worden overwogen vanwege de intensieve verstrengeling van landbouw- en natuurbelangen.

Een globale kostenindicatie van de maatregelen komt op 6 mln gulden:

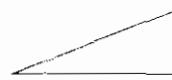
|   |           |
|---|-----------|
| aankoop van 150 ha à fl. 30.000             | 4.500.000 |
| dempn watergangen, 150 ha à fl. 2000        | 300.000   |
| opstuwen De Hoorns, 40 ha à fl. 4000        | 160.000   |
| schade De Hoorns, 40 ha à fl. 200/jaar * 20 | 160.000   |
| 2 stuwen Ruiner Aa à fl. 400.000            | 800.000   |
| opschonen vennen, 10 ha à fl. 15.000        | 150.000   |
| <br>  |           |
| totaal                                      | 6.070.000 |

Bovengenoemd voorbeeld van de Dwingeloose Heide is opgesteld ter illustratie van de gepresenteerde methode. De werkelijke situatie, maatregelen en kostenraming komen niet overal met het beschreven voorbeeld overeen.



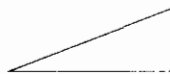


|    | a | b | c | d | e | f |
|----|---|---|---|---|---|---|
| A1 |   |   |   |   |   |   |
| A2 |   |   |   |   |   |   |
| B  |   |   |   |   |   |   |
| C  |   |   |   |   |   |   |
| D  |   |   |   |   |   |   |
| Ew |   |   |   |   |   |   |
| En |   |   |   |   |   |   |
| Ek |   |   |   |   |   |   |
| F  |   |   |   |   |   |   |
| G  |   |   |   |   |   |   |
| H  |   |   |   |   |   |   |

 alleen voor kwelgebieden maatregelen voor het geval tevens kwelwater in de wortelzone is gewenst, naast verhoogde grondwaterstand.

figuur 6.2: Maatregelen voor situaties waarbij de aantasting werd veroorzaakt door een lager grondwaterpeil in de onmiddellijke omgeving van het beschouwde terrein (oorzaak II).

|    | a | b | c | d | e | f |
|----|---|---|---|---|---|---|
| A1 |   |   |   |   |   |   |
| A2 |   |   |   |   |   | ■ |
| B  |   |   |   |   |   | ■ |
| C  |   |   |   |   | ▨ | ■ |
| D  |   |   |   |   | ■ | ■ |
| Ew |   |   |   |   | ■ | ■ |
| En |   |   |   |   | ■ | ■ |
| Ek |   | ▨ | ▨ | ■ | ■ | ■ |
| F  |   | ▨ | ▨ | ■ | ■ | ■ |
| G  |   | ▨ | ▨ | ■ | ■ | ■ |
| H  | ▨ | ▨ | ▨ | ▨ | ▨ | ▨ |









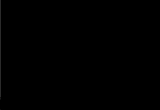



alleen voor kwegebieden. maatregelen voor het geval tevens kwelwater in de wortelzone is gewenst, naast verhoogde grondwaterstand.

figuur 6.3: Maatregelen voor situaties waarbij de aantasting werd veroorzaakt door een potentiaalverlaging vanuit het grondwatersysteem (oorzaak III) en waarbij de weerstand tegen perifere afvoer hoog is.

|    | a | b | c | d | e | f |
|----|---|---|---|---|---|---|
| A1 |   |   |   |   |   |   |
| A2 |   |   |   |   |   | ■ |
| B  |   |   |   |   |   | ■ |
| C  |   |   |   |   | ▨ | ▨ |
| D  |   |   |   |   | ■ | ■ |
| Ew |   |   |   |   | ■ | ■ |
| En |   |   |   |   | ■ | ■ |
| Ek |   | ▨ | ▨ | ▨ | ▨ | ▨ |
| F  |   | ▨ | ▨ | ▨ | ▨ | ▨ |
| G  |   | ▨ | ▨ | ▨ | ▨ | ▨ |
| H  | ▨ | ▨ | ▨ | ▨ | ▨ | ▨ |

▨ alleen voor kwelgebieden: maatregelen voor het geval tevens kwelwater in de wortelzone is gewenst, naast verhoogde grondwaterstand.

figuur 6.4: Maatregelen voor situaties waarbij de aantasting werd veroorzaakt door een potentiaalverlaging vanuit het grondwatersysteem (oorzaak III) en waarbij de weerstand tegen perifere afvoer onvoldoende hoog is.

|   |   |
|---|---|
|   | conserveren van grondwater; de meest geschikte conserveringsmaatregel moet worden geselecteerd met behulp van paragraaf 5.2.  |
|    | conserveren van grondwater volgens paragraaf 5.2, tezamen met begreppelen volgens paragraaf 5.3.  |
|   | beperken van de perifere afvoer; de meest geschikte manier om de perifere afvoer te beperken moet worden geselecteerd met behulp van paragraaf 5.4; in sommige gevallen is het wellicht mogelijk dat conserveren alleen al tot het gewenste resultaat leidt.  |
|    | beperken van de perifere afvoer met nadere selectie volgens paragraaf 5.4.  |
|    | beperken van de perifere afvoer met nadere selectie volgens paragraaf 5.4; wanneer daarmee onvoldoende resultaat wordt bereikt moet inlaat van water worden overwogen.  |
|    | beperken van de perifere afvoer met nadere selectie volgens paragraaf 5.4, tezamen met begreppelen.   |
|    | beperken van de perifere afvoer met nadere selectie volgens paragraaf 5.4, tezamen met begreppelen; wanneer deze maatregelen onvoldoende zijn kan periodieke inundatie met water van kwelkwaliteit worden overwogen.  |
|   | reductie van een onttrekking op basis van de overwegingen van paragraaf 5.5; wanneer die reductie niet haalbaar is moet waterinlaat worden overwogen; in een aantal gevallen is wellicht conserveren alleen al voldoende.   |
|  | reductie van een onttrekking op basis van de overwegingen van paragraaf 5.5; wanneer die reductie niet haalbaar is moet waterinlaat worden overwogen.   |
|  | reductie van een onttrekking op basis van de overwegingen van paragraaf 5.5; wanneer die reductie niet haalbaar is kan periodieke inundatie met water van kwelkwaliteit worden overwogen.   |
|   | reductie van een onttrekking op basis van de overwegingen van paragraaf 5.5; wanneer de onttrekkingsreductie niet haalbaar is moet waterinlaat worden overwogen, waarbij tevens de perifere afstroming moet worden beperkt met maatregelen uit de groep van paragraaf 5.4; in een aantal gevallen is wellicht alleen conserveren met beperking van de perifere afvoer al voldoende. |
|  | reductie van een onttrekking op basis van de overwegingen van paragraaf 5.5; wanneer de onttrekkingsreductie niet haalbaar is moet waterinlaat worden overwogen, waarbij tevens de perifere afstroming moet worden beperkt met maatregelen uit de groep van paragraaf 5.4.  |
|  | reductie van een onttrekking op basis van de overwegingen van paragraaf 5.5; wanneer de onttrekkingsreductie niet haalbaar is kan periodieke inundatie met water van kwelkwaliteit worden overwogen, waarbij tevens de perifere afstroming moet worden beperkt met maatregelen uit de groep van paragraaf 5.4.  |
|  | ernstig aangetaste situatie, waarin herstel waarschijnlijk niet haalbaar is.  |

Figuur 6.5: Legenda voor figuren 6.2, 6.3 en 6.4

## REFERENTIELIJST

- Bakel, P.J.T. van, et al., 1995, Verstedelijking en Verdroging, NOV rapport 4-1.
- Bakker, H. de en J. Schelling, 1989, Systeem van Bodemclassificatie van Nederland, De Hogere Niveaus, Staring Centrum/Pudoc.
- Beugelink, G.P. en F.A.M. Claessen, 1995, Operationalisatie van de 25%-doelstelling Verdroging; maatregelen, kosten en effecten, RIVM rapport nr. 715001001.
- Beusekom, C.F. van et al., 1990, Handboek Grondwaterbeheer voor Natuur, Bos en Landschap, eindrapport SWNBL.
- Blom, J., 1974, Verlaging van het freatisch vlak bij grondwateronttrekking in een gebied met vrije afwatering, RID mededeling 74-7.
- CHO-TNO Verslagen en Mededelingen no. 47, 1993, The use of hydro-ecological models in The Netherlands.
- Hoek, D. van der en J.P.M. Witte, 1994, Waterhuishouding en Vegetatie, Principes en toepassingen van de ecohydrologie, Syllabus LUW H051-204.
- Huisman, L., 1972, Groundwater Recovery, The Macmillan Press Ltd.
- Jalink, M.H., 1994, Globale inschatting van de haalbaarheid van lokale anti-verdrogingsmaatregelen voor de GMN-hoofdgebieden, KIWA rapport SWO 94.207.
- Jansen, A.J.M. et al., Van Hydrologische ingreep naar ecologische effectvoorspelling, 1993, KIWA Mededeling 122.
- Klijn, F. et al., 1992, Ecoseries 2.0, Naar een ecoserieclassificatie t.b.v. het ecohydrologisch voorspellingsmodel DEMNAT-2, CML rapport nr. 85.
- Kloosterman, F.H., 1993, De Landelijke Hydrologische Systemanalyse, Deelgebied Midden Nederland, TNO-GG rapport OS 93-41.
- Koerselman, G.J. et al. (werkgroep HELP-tabel), 1987, De invloed van de waterhuishouding op de landbouwkundige productie, Mededelingen Landinrichtingsdienst nr. 176.
- Landinrichtingsdienst, 1994, Overzicht Standaardeenheidsprijzen.

Landschap 1992/2, Themanummer Hydro-ecologische voorspellingsmethoden voor beheer en beleid.

Leuven, R.S.E.W. en F.J.J. Bles, 1989, Verdroging in Nederland, Oorzaak, omvang en oplossingen, Stichting Natuur en Milieu.

Linden, M. van der, et al., 1995, Herstel van Natte en Vochtige Ecosystemen, Concept Basisrapport NOV 9.

Peeters, E.T.H.M. en J.J.P. Gardeniers, 1995, Effecten van gebiedsvreemd water op aquatische ecosystemen, Responsie van biotische maatstaven, deelprojecten Sloten, Stromende Wateren en Meren en Plassen, Vakgroep Waterkwaliteitsbeheer en Aquatische Oecologie, LUW.

Putter, P.J. de en J. van der Vlies, 1995, Vernattings schade als gevolg van verdrogingsbestrijding, Een bestuurlijk-juridische analyse, NOV rapport 18-1.

Roelofs, J.G.M. en A. Smolders, 1993, Grote veranderingen in laagveenplassen door de inlaat van Rijnwater, De levende Natuur 1993/2.

Rolf, H.L.M. et al., 1993, Milieubeleidsindicator Verdroging, Fase IIa, Ontwikkeling van de methode en toepassing voor acht lokaties in Brabantse natuurterreinen, TNO-GG rapport OS 93-56A.

STIBOKA, 1985, Bodemkaart van Nederland 1:250.000.

STIBOKA, 1978, Bodemkaart van Nederland 1:50.000, Blad 17 Oost en West, Emmen.

Tauw Civiel en Bouw, 1995, Effecten van gebiedsvreemd water op aquatische (en terrestrische) ecosystemen, 3de concept-projectplan (NOV 10).

Veen, G.J. van der en A.C. Garritsen, 1994, Kennisoverzicht Ecohydrologie, Een inventarisatie van kennis en expertise op het gebied van ecohydrologie en verdroging, NOV rapport 7.

Verdonschot, P.F.M. et al., 1995, Beken stromen, Leidraad voor Ecologisch beekherstel, STOWA rapport 95-03, WEW-06.

Waterschap Salland, 1995, Watervoorzieningsplan Luttenberg, Raamplan.

Waterschap Salland, 1995, Watervoorzieningsplan Luttenberg, Uitvoeringsfase 1.

## Bijlage 1: Globale kostenindicaties

De kostenindicaties zoals hieronder vermeld geven een orde van grootte aan van de totale projectkosten (inclusief ontwerp- en begeleidingskosten en inclusief BTW).

De werkelijke kosten zullen sterk afhankelijk zijn van de concrete situatie waarin de werken worden uitgevoerd

### Hydrologische maatregelen

|  | gld/ha                     | gld/ha.<br>per jaar | cent/m <sup>3</sup> |
|--|----------------------------|---------------------|---------------------|
| natuurontwikkeling, ongespecificeerd         | 10.000 tot 20.000          |                     |                     |
| peil opzetten, polder                        | 2000 tot 4000              |                     |                     |
| peil opzetten, vrije afwatering              | 5000 tot 8000 <sup>*</sup> |                     |                     |
| operationeel peilbeheer                      | 200 tot 500                | 2 tot 6             |                     |
| inlaat in landbouwgebied                     | 500 tot 2000               |                     | 3 tot 7             |
| aanleg drainage                              | 2000 tot 4000              |                     |                     |
| dempen watergangen plus begreppelen          | 3000 tot 6000              |                     |                     |
| inlaat in natuurgebied                       | 200 tot 500                |                     | 3 tot 10            |
| perifere afstroming terugpompen              | 500 tot 1000               |                     | 2 tot 4             |
| terugpompen met dubbele ringsloot            | 1000 tot 2000              |                     | 2 tot 4             |
| vergroten open water berging in natuurgebied | 3000 tot 6000              |                     |                     |
| afgraven maaiveld                            |                            |                     | 1000 tot 2000       |

<sup>\*</sup> betrokken op het gebied waarin de aanpassingswerken zijn gelegen; het beïnvloede gebied is meestal veel groter.

## Detailkosten waterhuishoudkundige werken

|  | guldens     |
|--|-------------|
| vaste overlaat   | 5000        |
| vaste overlaat, balkstuw                               | 7000        |
| klepstuw, minimaal, hout/staal                         | 30.000      |
| geautomatiseerde klepstuw, 4 m kruinbreedte, beton     | 150.000     |
| geautomatiseerde klepstuw, 7 m kruinbreedte, beton     | 400.000     |
| gemaal 10 m <sup>3</sup> /min.                         | 150.000     |
| gemaal 30 m <sup>3</sup> /min.                         | 400.000     |
| aanleg watergang, per m <sup>1</sup>                   | 100 tot 250 |
| dempen watergang, per m <sup>1</sup>                   | 30 tot 150  |
| natuurlijk inrichten van watergang, per m <sup>1</sup> | 200 tot 500 |
| foliescherm, 6 m diep, per m <sup>1</sup>              | 150 tot 300 |

## Reductie van onttrekkingen

|  | investering in guldens |
|--|------------------------|
| verhuizen van een grondwaterpompstation per mln m <sup>3</sup> /jaar   | 10 mln tot 20 mln      |
| verplaatsen van een onttrekking naar grotere diepte, met enige aanpassing aan de zuivering, per mln m <sup>3</sup> /jaar | 3 mln tot 7 mln        |
| vervangen van een grondwaterpompstation per mln m <sup>3</sup> /jaar door een oppervlaktewaterwerk                       | 20 mln tot 30 mln      |
| diepinfiltratie bij bestaand grondwaterpompstation, inclusief voorzuivering en aanvoer, per mln m <sup>3</sup> /jaar     | 15 tot 25              |



## Landbouwschade

|   | guldens per ha. per jaar |
|---|--------------------------|
| vernattingschade bij een verhoging van de GHG van 10 cm vanuit het optimale grondwaterregime          | 150 tot 300              |
| verminderde droogteschade bij een verhoging van de GLG van 10 cm vanuit het optimale grondwaterregime | 50 tot 100               |
| per saldo schade bij een verhoging van zowel GHG als GLG van 10 cm                                    | 50 tot 250               |
| beheersovereenkomst passief beheer met o.a. niet intensiveren van ontwatering                         | 180 tot 260              |
| beperking berekening  | 0 tot 200                |

## Aankoop van landbouwgronden

|   | kosten per hectare  |
|---|---------------------|
| landbouwgrond, normaliter                   | 30.000 tot 70.000   |
| landbouwgrond, nabij stedelijke uitbreiding | 80.000 tot 120.000  |
| bollen- en glastuinbouwgebied               | 150.000 tot 200.000 |



## Bijlage 2: Verklarende woordenlijst

Hieronder volgt een verklaring van woorden die niet algemeen gangbaar zijn of die in dit rapport voor een specifieke uitleg zijn gereserveerd. Een algemene lijst van ecohydrologische begrippen is opgenomen in het rapport van NOV 7: Kennisoverzicht Ecohydrologie.

|                     |   |
|---------------------|---|
| aantasting          | (ongewenste) verandering in standplaatsfactoren door verdroging   |
| aantastingsstadium  | indeling in 6 stadia, a t/m f, waarmee grondwaterstandsdeling en gereduceerde lokale afstroming wordt aangegeven, onder invloed van externe verdrogingsoorzaken |
| afstroming          | de manier waarop nuttige neerslag als grondwater naar watergangen en lagere gebieden stroomt  |
| extern              | gebeurtenissen en maatregelen waarvan de grootte en uitwerking mede worden bepaald door afmetingen en omgeving van het beschouwde terrein                       |
| gebiedstype         | indeling in 11 typen, A1 t/m H, waarmee de hydrologische situatie van de jaren '50 van een gebied globaal wordt beschreven                                      |
| herstelwens         | verandering op de standplaats waarmee de gewenste (grond)watersituatie wordt bereikt  |
| intern              | gebeurtenissen en maatregelen waarvan grootte en uitwerking (vrijwel) onafhankelijk zijn van de omgeving van het beschouwde punt.                               |
| lokale afstroming   | afvoer van grondwater via het lokale ontwateringsstelsel  |
| maatregel           | ingreep waarmee in een of meer herstelwensen wordt voorzien   |
| perifere afstroming | afvoer van grondwater naar aangelegde terreinen met een kunstmatig lager peil   |
| systeemweerstand    | de (geschematiseerde) weerstand die wegzijgend water ondervindt op zijn weg naar het kwelgebied van het beschouwde grondwatersysteem                            |
| verdrogingsoorzaak  | een gebeurtenis die geleid heeft tot aantasting   |

HERSTELWENSEN

- A. Verhoging GVC
- B. Lagere grondwaterfluctuatie
- C. Kwelkwaliteit in wortelzone
- D. Verschraling van de bodem
- E. Watergangen watervoerend
- F. Verschraling van de waterbodern

GEBIEDSTYPE

- A1 (Hoog) wegzijggebied met diepe grondwaterstand
- A2 Andere wegzijggebieden zonder lokale afvoer
- B Wegzijggebied met alleen lokale afvoer in zeer natte perioden
- C Wegzijggebied met afdichtende laag op geringe diepte
- D Wegzijggebied met in de winter lokale afvoer
- Ew Relatief laag gelegen, marginaal wegzijggebied
- En Gebied met afwisselend kwel en wegzijging
- Ek Relatief hoog gelegen, marginaal kwelgebied
- F Dieper liggend kwelgebied met dikke afdeklaag
- G Kwelgebied met weinig afdekking
- H Geïsoleerd gebied

VERDROGGINGSOORZAKEN

- I Diepere ontwatering van het gebied zelf
- II Peilverlaging in aangelegen gebieden
- III Oorzaken op grotere diepte/afstand

AANTASTINGSSTADIA

- a Kwel bereikt wortelzone; ook in de zomer lokale afstroming
- b Kwel bereikt wortelzone; in de zomer geen lokale afstroming
- c Kwel bereikt niet de wortelzone, door diepere ontwatering
- d Voortdurend wegzijging; alleen in de winter lokale afvoer
- e Voortdurend wegzijging; lokale afvoer alleen in zeer natte perioden
- f Voortdurend wegzijging; nooit lokale afvoer

|     |   |
|-----|---|
|     | conserveren van grondwater; de meest geschikte conserveringsmaatregel moet worden geselecteerd met behulp van paragraaf 5.2   |
| I   | conserveren van grondwater volgens paragraaf 5.2, tezamen met begreppelen volgens paragraaf 5.3   |
|     | beperken van de perifere afvoer; de meest geschikte manier om de perifere afvoer te beperken moet worden geselecteerd met behulp van paragraaf 5.4; in sommige gevallen is het wellicht mogelijk dat conserveren alleen al tot het gewenste resultaat leidt.  |
| II  | beperken van de perifere afvoer met nadere selectie volgens paragraaf 5.4   |
|     | beperken van de perifere afvoer met nadere selectie volgens paragraaf 5.4, wanneer daarmee onvoldoende resultaat wordt bereikt moet inlaat van water worden overwogen   |
| III | beperken van de perifere afvoer met nadere selectie volgens paragraaf 5.4, tezamen met begreppelen.   |
| IV  | beperken van de perifere afvoer met nadere selectie volgens paragraaf 5.4, tezamen met begreppelen, wanneer deze maatregelen onvoldoende zijn kan periodieke inundatie met water van kwelkwaliteit worden overwogen.  |
|     | reductie van een onttrekking op basis van de overwegingen van paragraaf 5.5; wanneer die reductie niet haalbaar is moet waterinlaat worden overwogen; in een aantal gevallen is wellicht conserveren alleen al voldoende.   |
|     | reductie van een onttrekking op basis van de overwegingen van paragraaf 5.5, wanneer die reductie niet haalbaar is moet waterinlaat worden overwogen.   |
|     | reductie van een onttrekking op basis van de overwegingen van paragraaf 5.5; wanneer die reductie niet haalbaar is kan periodieke inundatie met water van kwelkwaliteit worden overwogen.   |
|     | reductie van een onttrekking op basis van de overwegingen van paragraaf 5.5; wanneer de onttrekkingsreductie niet haalbaar is moet waterinlaat worden overwogen, waarbij tevens de perifere afstroming moet worden beperkt met maatregelen uit de groep van paragraaf 5.4, in een aantal gevallen is wellicht alleen conserveren met beperking van de perifere afvoer al voldoende. |
| V   | reductie van een onttrekking op basis van de overwegingen van paragraaf 5.5; wanneer de onttrekkingsreductie niet haalbaar is moet waterinlaat worden overwogen, waarbij tevens de perifere afstroming moet worden beperkt met maatregelen uit de groep van paragraaf 5.4.  |
|     | reductie van een onttrekking op basis van de overwegingen van paragraaf 5.5; wanneer de onttrekkingsreductie niet haalbaar is kan periodieke inundatie met water van kwelkwaliteit worden overwogen, waarbij tevens de perifere afstroming moet worden beperkt met maatregelen uit de groep van paragraaf 5.4   |
|     | ernstig aangetaste situatie, waarin herstel waarschijnlijk niet haalbaar is.  |