

mededeling  
nummer **115**

# waterwinning en verdroging

Auteurs:  
ir. C. Maas  
drs. P.K. Baggelaar  
ir. G. van der Velde  
drs. M.H. Jalink  
drs. A.J.M. Jansen

KIWA N.V.  
Hoofdafdeling Speurwerk  
Nieuwegein, april 1991

# INHOUDSOPGAVE

<b>Algemene inleiding</b>	5
C. Maas	
<b>Empirisch bepalen van de invloed van een winning op stijghoogten</b>	9
P.K. Baggelaar	
1. Inleiding	9
2. Gedrag van de stijghoogte	10
3. Het transfer model	11
4. Het bouwen van een transfer model	14
4.1 Algemeen	14
4.2 Identificatie transfer model	15
4.3 Schatting parameters transfer model	17
4.4 Verificatie transfer model	17
5. Verdisconteren natuurlijke omstandigheden	18
6. Modelleren seizoensafhankelijke verlagingen	19
7. Bepalen geohydrologische parameters	21
8. Voorwaarden	24
9. Literatuur	24
<b>Produktietoename en verdamping van landbouwgewassen</b>	27
G. van der Velde	
1. Inleiding	28
2. Doel	29
3. Theorie	29
4. Opzet en uitvoering onderzoek	31
4.1 Toename landbouwproduktie	31
4.2 Toename actuele verdamping	33
4.3 Oppervlakte cultuurgrond en gewas-arealen	35

<b>5. Berekeningsresultaten</b>	36
5.1 Toename grondwaterverbruik uitgedrukt in millimeters	36
5.2 Toename grondwaterverbruik uitgedrukt in kubieke meters	38
<b>6. Enkele opmerkingen</b>	40
<b>7. Literatuur</b>	42
<b>Onderzoek naar indicatorsoorten voor verdroging, verzuring en eutrofiëring</b>	43
M.H. Jalink	
<b>1. Inleiding</b>	43
<b>2. Theoretische achtergronden</b>	44
2.1 Standplaatsfactoren en de sturing daarvan	44
2.2 Interne en externe invloeden op natuurreservaten	45
2.3 Werken per landschapstype	46
2.4 Werken per vegetatietype	47
2.5 Vraagstelling	49
<b>3. Methode</b>	50
3.1 Globale opzet van het onderzoek	50
3.2 Methoden locatie-onderzoek	53
<b>4. Resultaten: indicatiewaarden van soorten en vegetaties</b>	61
<b>5. Toepassingen</b>	62
5.1 Interpretatie	62
5.2 Terreinbeheer: kwaliteitsbewaking van natuurterreinen	63
5.3 Effectvoorspellingen: gebiedsinterpretatie	64
5.4 Effect-evaluatie: het monitoren van voorspelde effecten	64
<b>6. Discussie</b>	65
<b>Het speurwerkproject ecologische aspecten van grondwaterwinning; een tussenstand</b>	68
A.J.M. Jansen	
<b>1. Inleiding</b>	68
<b>2. Doel speurwerkproject</b>	68
<b>3. Enige theoretische achtergronden</b>	69
3.1 Hydro-ecologie en landschapsecologie	69
3.2 Vegetatiekunde	70
3.3 Standplaatsfactoren	72
3.4 De waterkringloop bepaalt de standplaatsfactoren	72
3.5 De vegetatiegradiënt als resultante van de variatie in standplaatsfactoren	73
3.6 Grondwaterstanden	75
3.7 Mineralenrijkdom	78
3.8 Trofiegraad	80

<b>4.</b>	<b>Aktiviteiten in het speurwerkproject</b>	81
4.1	Proeflokatie	81
4.2	De vegetatie- en soortverspreidingskartering	82
4.3	Grond- en oppervlaktewater	88
4.4	Synthese	92
4.5	Reconstructie	94
<b>5.</b>	<b>De ecologische effectvoorspelling</b>	96
<b>6.</b>	<b>Toekomst</b>	99
<b>7.</b>	<b>Literatuur</b>	100



## ALGEMENE INLEIDING

C. Maas, secretaris CIGO  
KIWA N.V.  
Afdeling Winning en Bodem

Verdroging van natuur en landschap is één van de belangrijke milieuthema's waarmee de grondwaterbedrijven geconfronteerd worden. De gevolgen voor de ecologische waarden van de omgeving leggen in toenemende mate beperkingen op aan de winningsmogelijkheden van grondwater. In de Derde Nota Waterhuishouding, de Vierde Nota Ruimtelijke Ordening en het Natuurbeleidsplan wordt op dit punt dan ook een stringenter beleid aangekondigd, dat geconcretiseerd zal worden in de provinciale waterhuishoudingsplannen.

Zoals het VEWIN-Milieuplan (VEWIN, 1990) stelt willen de waterleidingbedrijven actief deelnemen aan het onderzoek naar aard en omvang van de verdrogingsproblematiek. In feite houdt de bedrijfstak zich, in algemenere zin, al geruime tijd bezig met het onderzoeken van de nadelige gevolgen van waterwinning. In 1978 is daartoe de KIWA-Commissie Invloed Grondwaterwinning op de Omgeving (CIGO) ingesteld, die het speurwerk begeleidt dat KIWA dienaangaande in het kader van het VEWIN-speurwerkprogramma uitvoert. In de beginjaren, toen het verdrogingsprobleem op nationaal niveau nog niet als een belangrijk milieuthema onderkend werd, is in CIGOverband veel aandacht besteed aan de geohydrologische en landbouwkundige gevolgen. Niettemin was onder de vlag van de CIGO al vroeg een werkgroep Ecologische Aspecten actief, die binnen de bedrijfstak veel heeft bijgedragen tot de bewustwording van de milieuproblematiek. Nu het geohydrologische en het landbouwkundige onderzoek van waterwinplaatsen een routinematig karakter begint te krijgen is besloten om binnen de CIGO alle energie op het verdrogingsverschijnsel te concentreren, met het doel om tot een kwantitatieve beschrijving van de ecologische effecten van grondwaterwinning te komen.

Op 11 oktober 1990 werd op het KIWA/VWN-colloquium Waterwinning en Verdroging de stand van zaken weergegeven van het verdrogingsonderzoek dat door KIWA wordt uitgevoerd. De desbetreffende voordrachten zijn door de onderzoekers uitgewerkt tot artikelen, die in deze bundel zijn opgenomen. Het betreft -zoals de kop van het artikel van A.J.M. Jansen vermeldt- een tussenstand; volgens de planning zal eerst in 1992 een methode voor het voorspellen van de ecologische effecten van grondwaterwinning gereed komen. Omdat er een grote behoefte blijkt te bestaan aan een kwantificering van milieu-effecten is het onderzoek zodanig opgezet dat nieuw verworven inzichten reeds tijdens de uitvoering van het speurwerkproject beschikbaar komen.

De vier artikelen die in deze bundel zijn opgenomen weerspiegelen het keerpunt waarop de Commissie Invloed Grondwaterwinning op de Omgeving zich bevindt. De eerste twee artikelen betreffen geohydrologische en agrohydrologisch onderwerpen, die weliswaar een directe verbinding hebben met het verdrogingsvraagstuk. Dit soort onderzoek zal in de toekomst niet meer onder CIGO-vlag uitgevoerd worden. Het CIGO-onderzoek is de komende jaren geheel gericht op het integreren van hydrologische en ecologische kennis, zoals dat in de andere twee artikelen beschreven wordt.

In het artikel "Empirisch bepalen van de invloed van een winning op stijghoogten" beschrijft P.K. Baggelaar een geavanceerde statistische methode om de invloed van een bestaand pompstation op stijghoogten in de omgeving af te leiden uit tijdreeksen van grondwaterstanden, waargenomen in peilbuizen. De methode is ook geschikt om de effecten van andere ingrepen in de grondwaterhuishouding te onderzoeken, bijvoorbeeld de aanleg van een kanaal of de uitvoering van een ruilverkaveling. Omdat verdroging sterk gecorreleerd is met veranderingen van de grondwaterstand kan deze methode nuttig zijn bij een analyse van verdrogingsoorzaken.

Een interessante toepassing is ook het berekenen van geohydrologische parameters. Als er lange waarnemingsreeksen beschikbaar zijn heeft de methode belangrijke voordelen ten opzichte van de gebruikelijke pompproef. Toepassing op een aantal winplaatsen levert de indruk op dat pompproeven systematisch de weerstand van slecht doorlatende lagen onderschatten. Naar dit aspect is nader onderzoek nodig.

Het artikel "Produktietoename en verdamping van landbouwgewassen" is het verslag van een onderzoek door G. van der Velde, dat geïnspireerd is door het verschijnsel "achtergrondverdroging". Over dit verschijnsel is voor het eerst gepubliceerd door Rolf (1989), die in opdracht van Rijkswaterstaat onderzocht heeft of de grondwaterstanden in Nederland daadwerkelijk een dalende trend vertonen, die niet samenhangt met klimatologische invloeden. Uit een statistische analyse van een groot aantal waarnemingsreeksen kwam Rolf tot de verwachte conclusie dat dit het geval is, en tot de onverwachte conclusie dat een gedeelte van de waargenomen trendmatige daling volgens de gangbare inzichten niet zondermeer aan bekende oorzaken is toe te schrijven.

Over de oorzaken van deze achtergrondverdroging oppert Rolf in zijn rapport enkele hypothesen, waarvan Van der Velde het aspect gewasverdamping nader bestudeerd heeft. Onder zekere aannamen komt hij tot de slotsom dat door allerlei omstandigheden de verdamping van landbouwgewassen sinds 1950 toegenomen is met een hoeveelheid die vergelijkbaar is met de toename van de drinkwaterproduktie in dezelfde periode. De grondwaterstands daling ten gevolge van de toegenomen gewasverdamping blijkt in de orde van de achtergrondverdroging te liggen.

Het derde artikel, "Indicatorsoorten ten behoeve van verdrogingsonderzoek" door M.H. Jalink, geeft de resultaten van een hydro-ecologisch onderzoeksproject dat in samenwerking met Staatsbosbeheer is uitgevoerd. Onderzocht is in hoeverre in een (natuur)terrein aangetroffen plantensoorten informatie kunnen opleveren over het aanwezige grondwaterregime, de grondwaterkwaliteit en de zuurgraad van de bodem. Soorten die in dit opzicht bruikbaar zijn worden indicatorsoorten genoemd. Het blijkt dat de indicatieve waarde van een plantensoort afhankelijk is van het vegetatie-

type waarin de soort voorkomt, maar ook van het geohydrologische systeem en de regio waarin het vegetatietype zich bevindt. De indicatieve betekenis van een bepaalde soort zal daardoor in het algemeen van plaats tot plaats verschillen.

Kennis van indicatorsoorten maakt het mogelijk om via monitoringprojecten de floristische en vegetatiekundige kwaliteit van natuurlijk waardevolle gebieden te bewaken. Uit optredende veranderingen in de soortensamenstelling is af te leiden in welke richting maatregelen of onderzoek uitgevoerd moeten worden. Daarnaast biedt de kennis van indicatorsoorten de mogelijkheid om de effecten van ingrepen in het landschap en in de waterhuishouding (zoals grondwaterwinning) te voorspellen, te volgen en te evalueren.

In het artikel "Ecologische effectvoorspelling; een tussenstand" geeft A.M.J. Jansen de stand van zaken weer van de ontwikkeling van een effectvoorspellingsmethode, vooral met het oog op grondwaterwinning. Dit is het centrale onderzoeksthema van de CIGO-werkgroep Ecologische Aspecten. Het onderzoek is vooral toegespitst op het integreren van reeds bestaande kennis op het gebied van enerzijds de ecologie en anderzijds de hydrologie. Als verbindende schakel worden ideeën uit de hydrologische systeemanalyse gebruikt. Deze drie vakdisciplines zijn bij KIWA goed vertegenwoordigd, waardoor een integratie van inzichten al in een vroeg stadium van de methode-ontwikkeling mogelijk is.

De methode wordt getoetst aan een proefgebied, waarvoor de omgeving van Denekamp is uitgekozen. Deze streek is geselecteerd omdat hij veel landschappelijke kenmerken vertoont die algemeen gelden voor het pleistocene deel van Nederland.

Dit onderzoek wordt door verschillende waterleidingbedrijven begeleid; met name de Waterleidingmaatschappij Overijssel levert een actief aandeel.

De hier gebundelde artikelen bestrijken alleen het middagedeelte van het eerder genoemde KIWA/VWN-colloquium Waterwinning en Verdroging. In de ochtendbijeenkomst is aandacht geschonken aan de wijze waarop het verdrogingsonderzoek past in het beleid van de bedrijfstak en aansluit op het waterbeheer dat de provincies voeren. Voor een verslag daarover verwijzen wij naar *H<sub>2</sub>O* (23) 1990, nr 24, pagina's 672-674.

## LITERATUUR

VEWIN, 1990: Milieuplan VEWIN (concept). Vereniging van Exploitanten van Waterleidingbedrijven in Nederland, Rijswijk.

Rolf, H., 1989: Verlaging van de grondwaterstanden in Nederland. Dienst Grondwaterverkenning TNO.





# EMPIRISCH BEPALEN VAN DE INVLOED VAN EEN WINNING OP STIJGHOOGTEN

Drs. P.K. Baggelaar  
 KIWA, Hoofdafdeling Speurwerk  
 Afdeling Wiskunde en Informatica

## SAMENVATTING

*Aan de hand van tijdreeksanalyse kan enige tijd na de start van een winning de invloed daarvan op stijghoogten worden vastgesteld. Hierbij wordt gebruik gemaakt van reeksen waarnemingen van de stijghoogte in de omgeving van de winplaats. De methode levert per waarnemingsput een schatting van de stationaire verlaging van de stijghoogte als gevolg van de winning. In bepaalde situaties is het mogelijk daarbij onderscheid te maken tussen de verlaging die optreedt in het winterseizoen en de verlaging die optreedt in het zomerseizoen. En als we het ruimtelijke beeld, verkregen uit de schattingen voor meerdere waarnemingsputten, opvatten als het resultaat van een stationaire pompproef, kunnen zelfs geohydrologische parameters worden afgeleid. Er zijn redenen deze betrouwbaarder te achten dan die welke uit pompproeven afgeleid kunnen worden.*

## 1. INLEIDING

De stijghoogte in een bepaald gebied vormt naast een graadmeter voor de hoeveelheid grondwater, ook een belangrijke factor voor constructies, de landbouw en het milieu. Zo wordt het centrale hydrologische aspect van verdroging gevormd door de verlaging van de stijghoogte. In veel situaties zal men dan ook inzicht wensen in het gedrag van de stijghoogte. Vooral als beoordeeld moet worden of een bepaalde ingreep in de geohydrologische situatie geen ontoelaatbare schade oplevert. Dit speelt bijvoorbeeld heel duidelijk rond het verlenen van een vergunning tot grondwaterwinning.

Door de Werkgroep Geohydrologische Aspecten van Grondwaterwinning, opererend onder de vlag van de KIWA/VEWIN Commissie Invloed Grondwaterwinning op de Omgeving (CIGO), is destijds een inventarisatie gemaakt van methoden om tot zo'n indruk te komen (Den Blanken, 1980). Daarbij zijn twee categorieën onderscheiden:

- 1) theoretische methoden
- 2) empirische methoden

ad 1) *Theoretische* methoden gaan uit van mechanistische modellen van het betreffende geohydrologische systeem. Deze zijn gebaseerd op een sterke schematisatie van het systeem en fysische wetmatigheden, zoals de wet van Darcy en de wet van Behoud van Massa. Het is natuurlijk erg aantrekkelijk om de stijghoogte langs deze weg te modelleren, omdat 't een grote flexibiliteit schept. Men kan dan allerlei hypothetische ingrepen plaatsen en de invloed daarvan op de stijg-

hoogte evalueren. Deze aanpak wordt dan ook gevolgd om vóóraf de verlaging van de stijghoogte als gevolg van een grondwaterwinning in te schatten.

ad 2) *Empirische* methoden gaan uit van waarnemingsmateriaal van de stijghoogte. Deze aanpak wint sterk aan terrein, want steeds vaker bevatten vergunningen voor grondwaterwinningen het voorschrift een aantal jaar ná de winning een analyse uit te voeren van waarnemingsreeksen van de stijghoogte, om een eventuele invloed van de winning op de stijghoogte vast te kunnen stellen. Dit is dan een puur empirische benadering, min of meer ter controle op de voorafgaande theoretische benadering. In het kader van de Werkgroep Geohydrologische Aspecten van Grondwaterwinning zijn een aantal hiervoor in aanmerking komende technieken vergeleken. Hierbij kwam met name *Box-Jenkins tijdreeksanalyse* naar voren als zijnde uitermate geschikt voor deze situaties. Bij deze techniek wordt een tijdreeks van de stijghoogte met een zogenaamd *transfer model* beschreven als functie van tijdreeksen van relevante invloedsfactoren, zoals de grondwaterwinning (zie ondermeer Baggelaar, 1988a en 1988b en Van Geer, 1988).

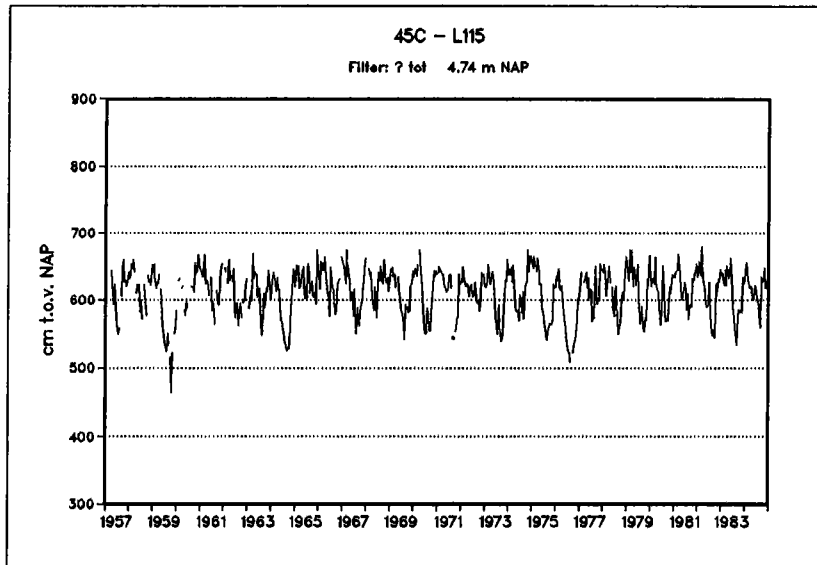
## 2. GEDRAG VAN DE STIJGHOOGTE

De empirische modellering van de stijghoogte is er op gericht het gedrag van de stijghoogte te beschrijven. Om een indruk te geven van dit gedrag worden hieronder een aantal voorbeelden gepresenteerd.

In figuur 1 een tijdreeks van de stijghoogte van freatisch grondwater. Het betreft een landbouwbuis bij Haaren in Noord-Brabant. De reeks is gebaseerd op halfmaandelijke waarnemingen over een periode van zo'n 17 jaar. Gelet op de sterke periodiciteit van de stijghoogte, met de laagste standen in de nazomer en de hoogste standen in de nawinter, is er een duidelijke invloed van het neerslagoverschot.

In figuur 2 (boven) een tijdreeks halfmaandelijke waarnemingen van de stijghoogte in een diep watervoerend pakket, op 700 m van de winplaats Spannenburg in Friesland. Eind 1981 is daar een flinke toename van de grondwaterwinning opgetreden. De stijghoogte vertoont dan ook naast de invloed van het neerslagoverschot een sterke invloed van de winning, met een verlaging van bijna 1 m. Eveneens in figuur 2 (onder) een tijdreeks halfmaandelijke waarnemingen van de stijghoogte in hetzelfde pakket, maar nu op 2100 m afstand. De resulterende verlaging bedraagt nu nog maar enkele dm's. De twee pieken in de tijdreeks zijn meetfouten.

In figuur 3 zijn twee tijdreeksen van maandelijkse gemiddelden van de stijghoogte nabij Bergen op Zoom weergegeven. De bovenste betreft de stijghoogte van infiltrerend freatisch grondwater met de karakteristieke grote seizoensfluctuaties onder invloed van het neerslagoverschot. De onderste betreft de stijghoogte van het ondiepe grondwater in een nabijgelegen polder. De fluctuaties zijn hier sterk afgevlakt door polderpeilbeheersing. In deze figuur zijn dus de invloeden van het neerslagoverschot, de topografische hoogte en de polderpeilbeheersing op de stijghoogte waarneembaar.



**Figuur 1:** Halfmaandelijke waarnemingen van de stijghoogte van freatisch grondwater nabij Haaren (Noord-Brabant).

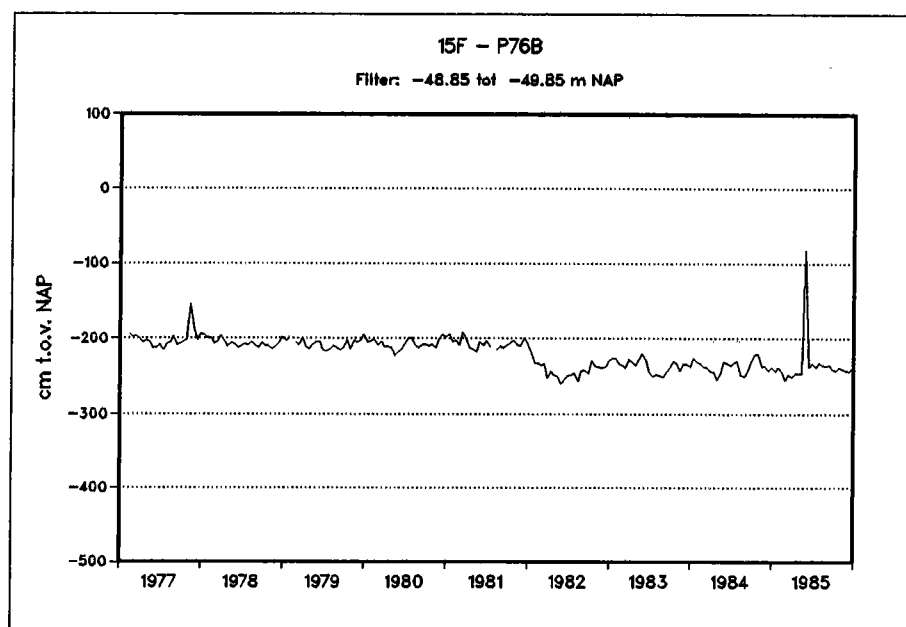
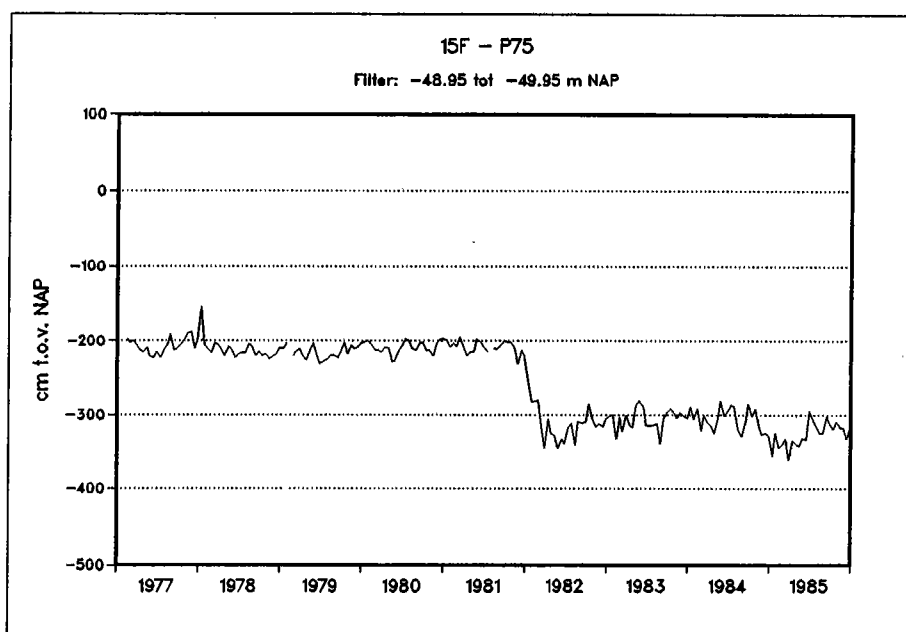
In het algemeen kunnen we stellen dat de stijghoogte op een bepaalde locatie kan worden opgevat als functie van een aantal invloedsfactoren, zoals de geohydrologische, meteorologische en waterhuishoudkundige omstandigheden en de topografische hoogte. Bij deze invloedsfactoren kunnen we onderscheid maken tussen:

- dynamische invloedsfactoren: deze veroorzaken een verandering van de stijghoogte (een voorbeeld is het neerslagoverschot);
- statische invloedsfactoren: deze veroorzaken geen verandering van de stijghoogte, maar bepalen slechts z'n gemiddelde niveau (een voorbeeld is de topografische hoogte).

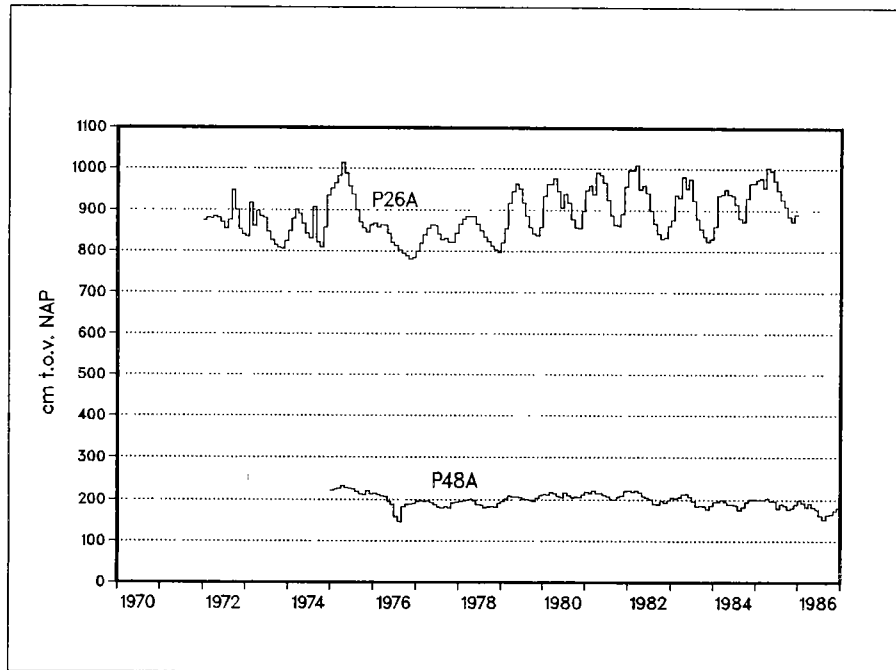
### 3. HET TRANSFER MODEL

Met het transfer model wordt de stijghoogte beschreven als functie van z'n relevante invloedsfactoren, aangevuld met een ruisterm. Het principe is weergegeven in figuur 4, voor een stijghoogte die voornamelijk wordt beïnvloed door het neerslagoverschot en een grondwaterwinning. Als we van rechts naar links gaan, zien we dat de stijghoogte op een bepaald tijdstip ( $Y_t$ ) ontstaat als som van een aantal componenten, namelijk:

$$Y_t = U_{1t} + U_{2t} + N_t \quad [1]$$

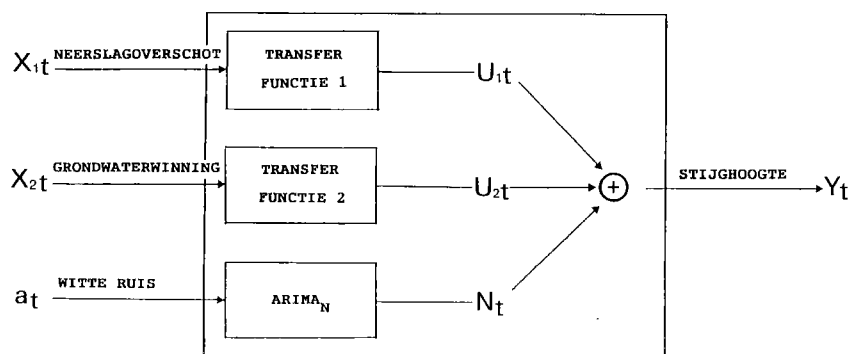


Figuur 2: Halfmaandelijke waarnemingen van de stijghoogte in een diep watervoerend pakket, respectievelijk op 700 m (boven) en op 2100 m (onder) van de winplaats Spannenburg (Friesland).



**Figuur 3:** Maandelijks gemiddelden van de stijghoogte nabij Bergen op Zoom (Noord-Brabant), respectievelijk voor infiltrerend freatisch grondwater (P26A) en ondiep grondwater in een nabijgelegen polder (P48A).

Elke invloedfactor levert volgens een lineaire functie (een transfer functie) zo'n component van de stijghoogte. Dit komt er op neer dat een deel van de stijghoogte ( $U_1$ ) op een bepaald tijdstip wordt beschreven als gewogen som van termen van het neerslagoverschot ( $X_1$ ) op hetzelfde en voorgaande tijdstippen. De verdeling van de gewichten over deze termen wordt gegeven door de transfer functie, die in feite een uitdrukking is van de dynamische relatie tussen het neerslagoverschot en de stijghoogte.



**Figuur 4:** Principe van het transfer model.

Het deel van de stijghoogte dat we niet kunnen beschrijven via de invloedsfactoren noemen we de *ruis* ( $N$ ). Deze vertegenwoordigt in feite de component van de stijghoogte die wordt geleverd door alle overige invloedsfactoren. De modellering is er op gericht deze ruis te beschrijven als lineaire functie van *witte ruis*, middels het Arima model of ook wel ruismodel. De witte ruis, op te vatten als het uiteindelijke *modelresidu*, bestaat uit een tijdreeks met volledig toevallige waarden uit een normale kansverdeling. Deze vormt daarmee het onzekerheidselement van het transfer model.

Om het bovenstaande te illustreren, is hieronder een eenvoudig transfer model met twee invloedsfactoren uitgeschreven:

$$Y_t = w_{10}X_{1t} - w_{11}X_{1t-1} - w_{12}X_{1t-2} + w_{20}X_{2t} + N_t \quad [2]$$

met als ruismodel:

$$N_t = \phi_1 N_{t-1} + \phi_2 N_{t-2} + a_t - \theta_1 a_{t-1} + c \quad [3]$$

met  $Y$  de stijghoogte,  $X_i$  invloedsfactor  $i$ ,  $t$  de tijdsindex,  $w_{ij}$  de modelparameter voor  $X_i$   $j$  tijdstappen terug,  $\phi_j$  de modelparameter voor de ruis  $j$  tijdstappen terug,  $a$  de witte ruis,  $\theta_j$  de modelparameter voor  $a$   $j$  tijdstappen terug en  $c$  een constante.

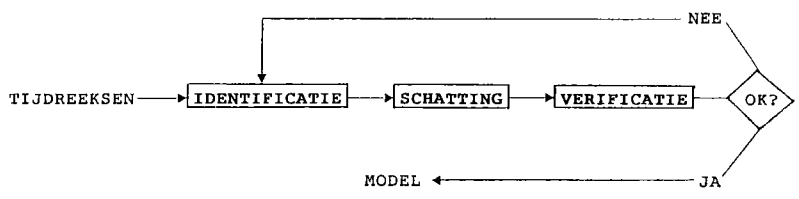
Het transfer model geeft dus een beschrijving van de stijghoogte in termen van bepaalde invloedsfactoren, aangevuld met een ruisterm.

## 4. HET BOUWEN VAN EEN TRANSFER MODEL

### 4.1 Algemeen

Het bouwen van een transfer model volgt een iteratief proces. Per ronde worden drie fasen doorlopen (zie figuur 5). We onderscheiden namelijk:

- a) identificatie van het model
- b) schatting van de modelparameters
- c) verificatie van het model



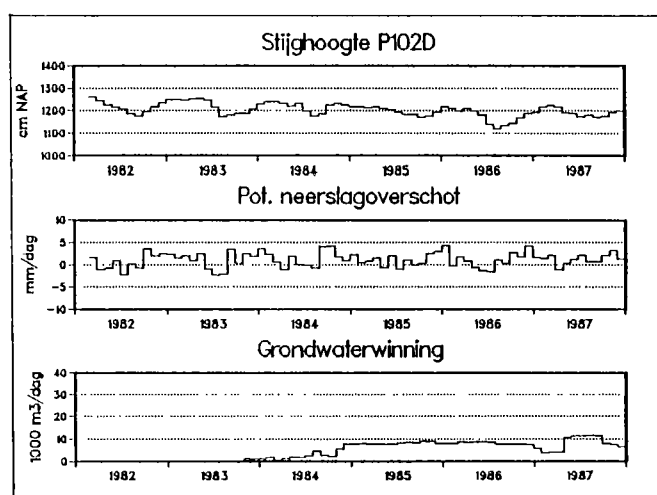
**Figuur 5:** Stroomschema voor het bouwen van een transfer model.

Deze drie fasen zullen hieronder kort worden toegelicht.

## 4.2 Identificatie transfer model

Bij de identificatie van een transfer model wordt aan de hand van de waargenomen dynamische relatie tussen elke afzonderlijke invloedsfactor en de stijghoogte de *vorm* van de betreffende transfer functie afgeleid.

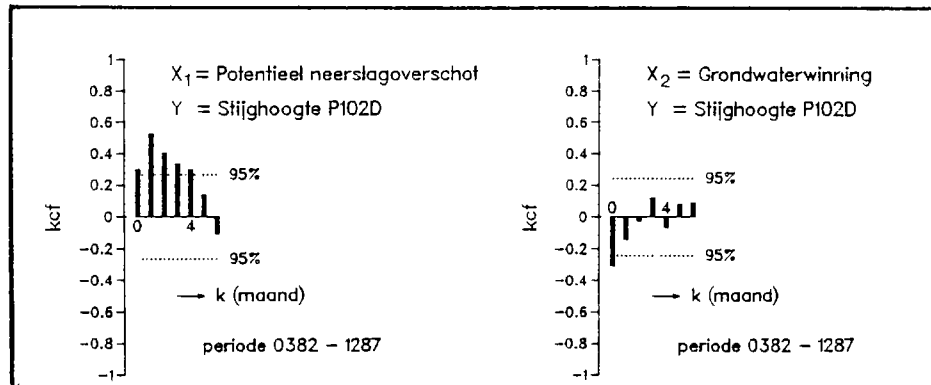
Dit zal hier worden geïllustreerd met de identificatie van het transfer model voor de stijghoogte in waarnemingsput P102D, op 2300 m van een winplaats, met het filter in het winpakket. Uit een gebiedsinventarisatie kwam naar voren dat in ieder geval het neerslagoverschot en vermoedelijk ook de grondwaterwinning relevante invloedsfactoren van deze stijghoogte vormen. De betrokken tijdreeksen zijn weergegeven in figuur 6, op maandbasis. Omdat er uiteraard geen waarnemingen van het neerslagoverschot beschikbaar zijn, wordt deze hier vertegenwoordigd door het **potentieel** neerslagoverschot, een theoretische benadering van de eerste. Er kan worden waargenomen dat de grondwaterwinning vanaf 1984 een sterke toename in de vorm van een stap heeft ondergaan.



**Figuur 6:** Tijdreeksen van maandelijkse gemiddelden van respectievelijk de stijghoogte in waarnemingsput P102D, het potentieel neerslagoverschot en een nabijgelegen grondwaterwinning.

Belangrijkste instrument bij de identificatie van een transfer functie is het *kruiscorrelogram*, een plot van de geschatte correlatiecoëfficiënt van de twee tijdreeksen, als functie van hun onderlinge tijdsverschuiving. In figuur 7 zijn de twee relevante kruiscorrelogrammen weergegeven, links van het potentieel neerslagoverschot en de stijghoogte, rechts van de grondwaterwinning en de stijghoogte.





$$y_t = \frac{(\omega_{10} - \omega_{11}B)}{(1 - \delta_{11}B)} x_{1t} + \frac{\omega_{20}}{(1 - \delta_{21}B)} x_{2t} + \frac{a_t}{(1 - \phi_1B)} + c$$

**Figuur 7:** Relevante kruiscorrelogrammen voor de identificatie van het transfer model van de stijghoogte in waarnemingsput P102D.

Een plezierige eigenschap van het kruiscorrelogram is dat z'n vorm representatief is voor de dynamische reactie van de te beschrijven variabele op een enkelvoudige puls van de invloedfactor. Dit geeft dus direct een visuele indruk van hun dynamische relatie. Het linker kruiscorrelogram suggereert dat de stijghoogte reageert op een puls van het neerslagoverschot met een korte stijging, gevolgd door een geleidelijke terugkeer naar de evenwichtssituatie. Het rechter kruiscorrelogram suggereert een onmiddellijke daling van de stijghoogte als reactie op een puls van de grondwaterwinning, weer gevolgd door een geleidelijke terugkeer naar de evenwichtssituatie.

Praktische handleidingen voor Box-Jenkins modelbouw (o.a. McLeod, 1983) bevatten voorbeelden van kruiscorrelogrammen voor de meest gangbare vormen van transfer functies. Door het kruiscorrelogram te vergelijken met deze voorbeelden kan de vorm van de transfer functie worden bepaald.

Bij de identificatie moet ook een model voor de ruis worden geformuleerd. Omdat alle relevante invloedfactoren bij de modellering zijn betrokken, is er van uitgegaan dat de ruis, zijnde het resterende deel van de stijghoogte, een reeks vormt die rond een constante waarde schommelt. Het model van de ruis is dan ook zodanig geformuleerd.

Voor ons voorbeeld is de geïdentificeerde vorm van het transfer model in figuur 7 onderaan uitgeschreven. De gebruikte symbolen zijn hier niet relevant, waar het om gaat is dat door deze transfer functie een deel van de stijghoogte in een bepaalde maand wordt beschreven als combinatie van het neerslagoverschot in dezelfde maand en voorgaande maanden, een ander deel wordt beschreven als combinatie van de grondwaterwinning in dezelfde maand en voorgaande maanden en het

resterende deel wordt beschreven als combinatie van witte ruis termen in dezelfde en voorgaande maanden.

### 4.3 Schatting parameters transfer model

De schatting van de parameters geschiedt aan de hand van de beschikbare tijdreeksen en de gepostuleerde vorm van het transfer model. Belangrijk aspect hierbij is dat alle parameters simultaan worden geschat.

Voor de schattingsprocedure staan verschillende mathematische methoden ter beschikking, die alle gebaseerd zijn op een optimalisatie ten aanzien van één of ander criterium. In theorie levert de maximum likelihood methode de meest verantwoorde schatters, maar deze geeft soms reken-technische problemen. De kleinste kwadraten methode geeft minder problemen en levert bovendien in de meeste gevallen schatters die een zeer goede benadering geven van de maximum likelihood schatters. De methode schat de parameters zódanig, dat de standaardafwijking van de witte ruis reeks (de modelresiduën) minimaal wordt.

Aan de hand van de geschatte parameters van een afzonderlijke transfer functie kan ook het evenwichtseffect van de betreffende invloedsfactor worden geschat. Voor het bovengenoemde voorbeeld levert dit een *stationaire* verlaging van de stijghoogte in P102D van 41,6 cm (standaardafwijking 4,6 cm) als gevolg van een grondwaterwinning van 3 miljoen m<sup>3</sup> per jaar.

Elke schatting gaat gepaard met een maat voor z'n onzekerheid, de standaardafwijking, aan de hand waarvan het *betrouwbaarheidsinterval* van de schatting kan worden berekend. Dit is op te vatten als het interval waarbinnen de werkelijk opgetreden verandering zal liggen met een bepaalde betrouwbaarheid (meestal wordt hiervoor 95% genomen).

### 4.4 Verificatie transfer model

De zeer grondige kritische beoordeling van het transfer model in de verificatiefase is een sterk punt in de modelbouw. In deze fase wordt het model getoetst aan de centrale vooronderstelling die er aan ten grondslag ligt, namelijk dat de modelresiduën witte ruis vormen.

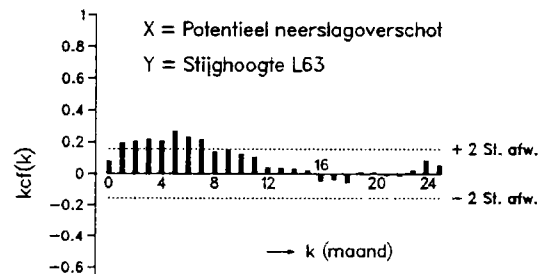
Met behulp van geconstateerde discrepanties kan vervolgens een nieuw model worden geïdentificeerd.

## 5. VERDISCONTEREN NATUURLIJKE OMSTANDIGHEDEN

Bij een verlagingsonderzoek moet zoveel mogelijk worden verdisconteerd voor de natuurlijke omstandigheden, teneinde de invloed van een bepaalde grondwaterwinning optimaal te kunnen inschatten.

Er zijn twee manieren om de natuurlijke omstandigheden in een transfer model voor de stijghoogte op te nemen.

1) Door het *potentieel neerslagoverschot* als invloedsfactor mee te nemen. Nadeel is echter dat de dynamische relatie tussen het potentieel neerslagoverschot en de stijghoogte vaak vrij complex is, vooral als het freatisch grondwater betreft, zoals geconstateerd kan worden in het kruiscorrelogram van figuur 8. Er is hier een groot vertragingseffect vanwege de dikke onverzadigde zone. De geïdentificeerde transfer functie is onder uitgeschreven.



$$Y_t = \frac{(\omega_0 - \omega_1 B - \omega_2 B^2 - \omega_3 B^3 - \omega_4 B^4 - \omega_5 B^5)}{(1 - \delta_1 B)} X_t + \dots$$

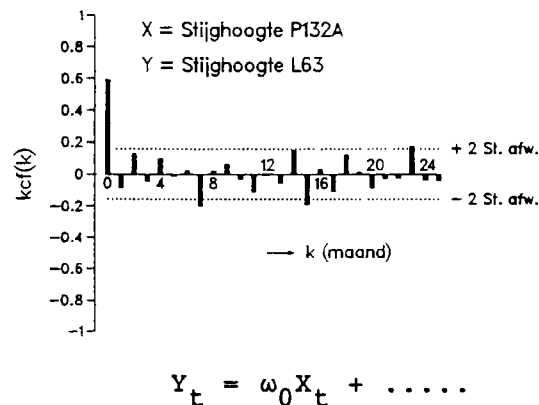
**Figuur 8:** Voorbeeld van het kruiscorrelogram van het potentieel neerslagoverschot en de stijghoogte van freatisch grondwater.

2) Door de *stijghoogte in een stambuis* als invloedsfactor mee te nemen. Een stambuis is een waarnemingsput met een stijghoogte die representatief is voor de ongestoorde situatie van een bepaalde geohydrologische eenheid en dus buiten de invloedsstraal ligt van de winning. In figuur 9 is weer gegeven het kruiscorrelogram van de stijghoogte in een relevante stambuis en weer dezelfde stijghoogte als in het voorbeeld van figuur 8. De relatie is nu alleen direct, zonder vertragingseffecten.

Het is dan ook meermalen gebleken dat transfer modellen met de stijghoogte in een stambuis als een invloedsfactor de stijghoogte veel beter kunnen beschrijven dan modellen met het potentieel neerslagoverschot als een invloedsfactor.

Mogelijke verklaringen zijn:

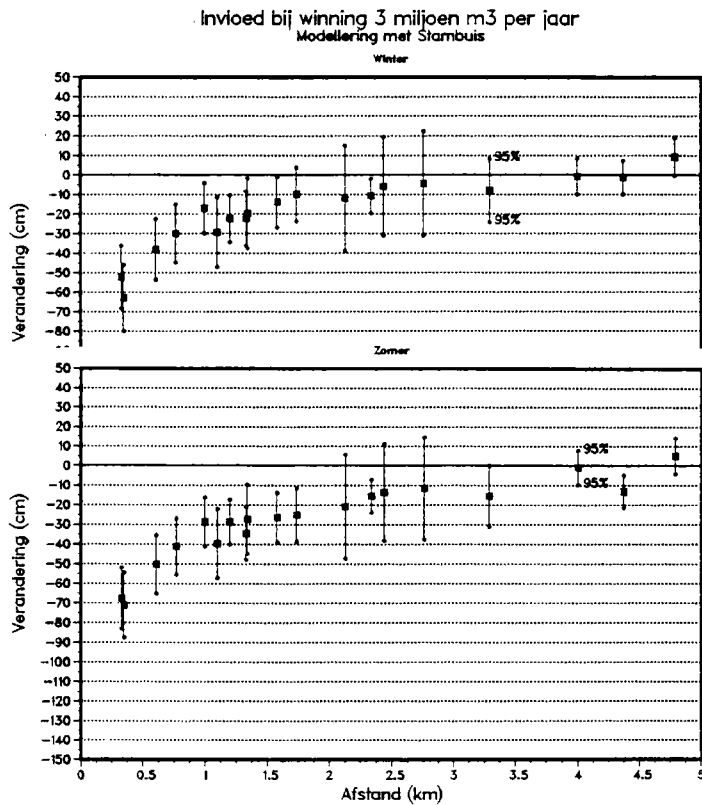
- de gecompliceerde relatie neerslagoverschot - stijghoogte is via de relatie met de stijghoogte in de stambuis op eenvoudige wijze direct in het model opgenomen en kan dan meestal met slechts één modelparameter worden beschreven;
- er wordt in feite rekening gehouden met het (actueel) neerslagoverschot en niet met een theoretische benadering daarvan (het potentieel neerslagoverschot);
- eventuele laterale effecten in het betreffende geohydrologische systeem zijn via de stijghoogte in de stambuis ook in het model opgenomen (een toepasselijk voorbeeld is de zogenaamde achtergrondverdroging).



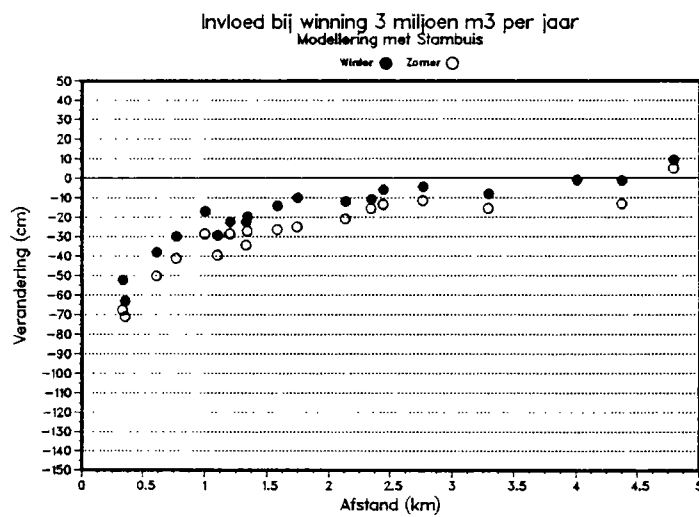
**Figuur 9:** Voorbeeld van het kruiscorrelogram van de stijghoogte in een stambuis en de stijghoogte van freatisch grondwater.

## 6. MODELLEREN SEIZOENSAFHANKELIJKE VERLAGINGEN

Als wordt verondersteld dat een verlaging seizoensafhankelijk is, bijvoorbeeld omdat er 's zomers waterlopen droogvallen, verdient het aanbeveling hiermee rekening te houden bij de transfer modellering. Er dient dan een transfer model te worden gebouwd met de zomerwinning en de winterwinning als afzonderlijke invloedsfactoren. Hun tijdreeksen hebben afwisselend een halfjaar de waarde nul en het andere halfjaar de waarde van de grondwaterwinning. Zo'n modellering is uitgewerkt in het verlagingsonderzoek "t Klooster" (Baggelaar en Meijer, 1990). Het betreft hier een freatische winning. In figuur 10 zijn de resulterende verlagingenbeelden voor het winterhalfjaar (boven) en het zomerhalfjaar (onder) weergegeven. Voor geen van de afzonderlijke waarnemingsputten kan hier een significant verschil worden geconstateerd. Maar als we de puntschattingen beschouwen en bij elkaar in één figuur zetten (figuur 11), zien we dat de verlaging in de zomer wel degelijk systematisch groter is dan de verlaging in de winter.



**Figuur 10:** Geschatte verlagingen (met 95% betrouwbaarheidsinterval) van de stijghoogte bij een winning van 3 miljoen m<sup>3</sup> per jaar, uitgezet tegen de afstand tot het zwaartepunt van de winning, voor de winter (boven) en de zomer (onder).



**Figuur 11:** Puntstellingen van de verlaging van de stijghoogte bij een winning van 3 miljoen m<sup>3</sup> per jaar.

## 7. BEPALEN GEOHYDROLOGISCHE PARAMETERS

De theoretische modellering van een geohydrologisch systeem leunt sterk op kennis van de waarden van relevante geohydrologische parameters van dat systeem, te weten:

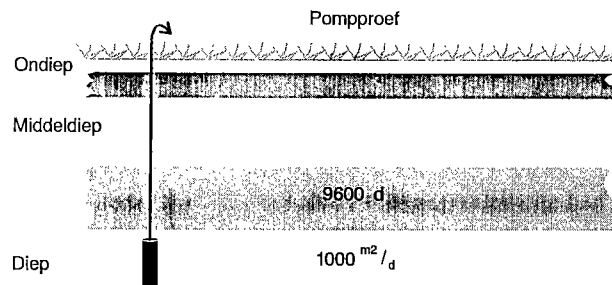
- voor elk watervoerend pakket:
  - het doorlaatvermogen ( $kD$  in  $m^2/dag$ )
  - de bergingscoëfficiënt ( $S$ , dimensieloos)
- voor elk slecht doorlatend pakket:
  - de verticale hydraulische weerstand ( $c$  in dagen).

In de meeste gevallen worden deze parameters geschat aan de hand van een pompproef, zijnde een proefopzet om een ruimtelijk beeld te krijgen van de verlaging van de stijghoogte als gevolg van een grondwaterwinning. Daarbij wordt meestal getracht een stationair verlagingenbeeld te creëren, omdat er dan gebruik kan worden gemaakt van eenvoudige formules en er ook meer betrouwbare resultaten ontstaan. Als nadelen van een pompproef moeten echter genoemd worden:

- het vergt een grote inspanning;
- ter plaatse van een winplaats treedt er een verstoring op van de normale bedrijfsvoering;
- het geheel is kleinschalig (geringe onttrekking, korte duur);
- er wordt slechts zeer globaal gecorrigeerd voor overige invloedsfactoren (zoals het neerslagoverschot);
- het is soms discutabel of uiteindelijk stationariteit bereikt is (gezien de duur van pompproeven in de praktijk moet dit ook niet altijd haalbaar worden geacht).

Als op een winplaats al enige tijd grondwater wordt onttrokken, kunnen we aan de hand van tijdreeksanalyse ook een stationair verlagingenbeeld creëren, zonder dat daarvoor een speciale proefopzet benodigd is. We moeten daartoe voor een aantal waarnemingsfilters rond de winplaats een transfer model bouwen, waarbij de stijghoogte wordt beschreven als functie van die winning en andere mogelijke invloedsfactoren. Als we het geschatte verlagingenbeeld dan opvatten als het resultaat van een groots opgezette stationaire pompproef, kunnen daaruit de geohydrologische parameters worden geschat.

Zo zijn de resultaten van het verlagingsonderzoek Oirschot (Baggelaar en Heidelberg, 1988) gebruikt om de geohydrologische parameters te schatten. De geohydrologische schematisatie van de ondergrond en de relevante parameters zijn weergegeven in figuur 12. De parameters zijn geschat uit een pompproef (WOB, 1974). Het betreft hier een winning op 170 tot 200 m -mv, in het diepe watervoerend pakket. Het aan de hand van tijdreeksanalyse geschatte verlagingenbeeld bij een grondwaterwinning van 3 miljoen  $m^3$  per jaar is per watervoerend pakket weergegeven in figuur 13. Tevens zijn hierin weergegeven de analytisch berekende verlagingen op basis van de eerder genoemde geohydrologische parameters.



**Figuur 12:** Geohydrologische schematisatie van de ondergrond van de winplaats Oirschot (Noord-Brabant), met uit een pompproef geschatte geohydrologische parameters.

Uit de tijdreeksanalyse blijkt dat de verlagingen in het diepe pakket groter en in de daarboven liggende pakketten kleiner zijn dan verwacht zou mogen worden op basis van de analytische berekeningen. Dit duidt er op dat de weerstand van de afsluitende laag boven het winpakket door de pompproef is onderschat.

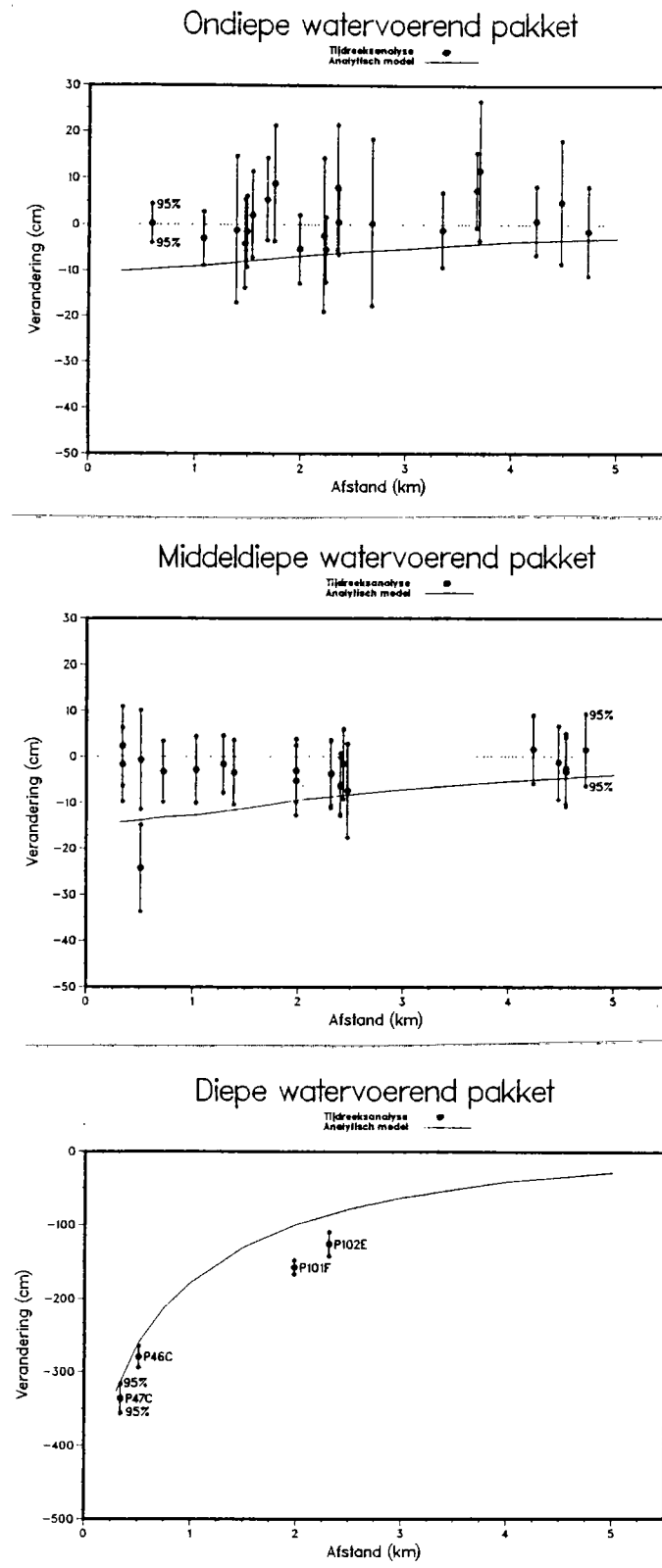
Uitwerking van het met tijdreeksanalyse verkregen ruimtelijk verlagingenbeeld met het programma MAF ("Multiple Aquifer Flow", Maas, 1986) leverde een weerstand voor de afsluitende laag boven het winpakket die vier keer zo hoog lag als de eerder geschatte waarde, namelijk 36.000 dagen in plaats van 9.600 dagen. De schatting van de doorlatendheid van het winpakket veranderde daarentegen weinig, namelijk van  $1000 \text{ m}^2/\text{d}$  naar  $1225 \text{ m}^2/\text{d}$  (Heidelberg, 1989).

In meer gevallen is overigens al geconstateerd dat de weerstand van een afsluitende laag boven een winpakket volgens een pompproef lager wordt geschat dan volgens tijdreeksanalyse. Vooral in het licht van de verdrogingsproblematiek verdient deze discrepantie nadere studie.

Als voordelen van de aanpak met tijdreeksanalyse ten opzichte van een gewone pompproef mogen genoemd worden:

- er is geen verstoring van de normale bedrijfsvoering;
- het geheel krijgt een veel grotere schaal;
- er wordt een verantwoorde correctie uitgevoerd voor overige invloedsfactoren;
- de stationaire verlaging kan goed worden geschat (zelfs ook als deze nog niet is opgetreden).

Vooral vanwege de laatste twee facetten stel ik meer vertrouwen in geohydrologische parameters geschat uit tijdreeksanalyse, dan in die geschat uit een pompproef.



**Figuur 13:** Geschatte verlagingen (met 95% betrouwbaarheidsinterval) van de stijghoogte bij een winning van 3 miljoen  $m^3$  per jaar, per watervoerend pakket uitgezet tegen de afstand tot het zwaartepunt van de winning. Tevens zijn weergegeven de analytisch berekende verlagingen op basis van de uit de pompproef geschatte geohydrologische parameters.



## 8. VOORWAARDEN

Uit het voorgaande mag duidelijk zijn geworden dat met tijdreeksanalyse van de stijghoogte een verantwoord beeld kan worden geschapen van de invloed van een winning op de stijghoogte. Maar uiteraard dient hierbij aan een aantal voorwaarden te worden voldaan, te weten:

- een duidelijk verschil in winning over de beschouwde periode;
- de aanwezigheid van een meetnet binnen de veronderstelde invloedsstraal van de winning;
- de beschikking over tijdreeksen van de stijghoogte met voldoende lengte, bij een staptoename van de winning minimaal 2 jaar vóór en 2 jaar ná de stap en bij een geleidelijke toename van de winning minimaal 5 jaar.

## 9. LITERATUUR

- Baggelaar, P.K. (1987): Invloed van de grondwaterwinningen op de winplaatsen De Mondaf en Lievensberg (Bergen Op Zoom) op stijghoogten. Tijdreeksanalyse van stijghoogten. KIWA N.V., SWO-87.325, Nieuwegein.
- Baggelaar, P.K. (1988a): Tijdreeksanalyse bij verlagingsonderzoek: principe en voorbeeld. H2O (21), 1988, nr. 16, pp. 443 - 450.
- Baggelaar, P.K. (1988b): Box-Jenkins analyse van stijghoogten. In: Tijdreeksen in bodem en water. Comm. voor Hydrol. Onderz. - TNO. Rapporten en Nota's, nr. 20, 's Gravenhage, 1988.
- Baggelaar, P.K. en Heidelberg, E.E. (1988): Invloed van de grondwaterwinning Oirschot op stijghoogten en oppervlaktewaterstanden volgens tijdreeksanalyse. KIWA N.V., SWO-88.245, Nieuwegein.
- Baggelaar, P.K. en Meijer, J.A. (1990): Invloed van de grondwaterwinning 't Klooster op grondwaterstanden volgens tijdreeksanalyse. KIWA N.V., SWO-89.351, Nieuwegein.
- Box, G.E.P. and Jenkins, G.M. (1976): Time Series Analysis, Forecasting and Control. Holden-Day, San Francisco.
- Den Blanken, M.G.M. (1980): Inventarisatie van methoden ter bepaling van grondwaterstandsdalingen als gevolg van grondwaterwinning. Deel I - Methoden ter bepaling van reeds opgetreden grondwaterstandsdalingen. Deelrapport van de Werkgroep Geohydrologische Aspecten van de Commissie Invloed Grondwaterwinning op de Omgeving. KIWA N.V., Rijswijk.
- Geer, F.C. van (1988): Verlagingsberekening met transfer modellen rond de winplaats Spannenburg. H2O (21) 1988, nr. 16, pp. 451 - 454.
- Heidelberg, E.E. (1989): Onderbouwend onderzoek voor de vergunningsaanvraag Oirschot. KIWA N.V., SWO-88.292, Nieuwegein.
- Maas, C. (1986): The use of matrix differential calculus in problems of multiple-aquifer flow. Journal of Hydrology, 88 (1986), pp. 43 - 67.
- McLeod, G. (1983): Box Jenkins in Practice. Volume I: Univariate Stochastic and Transfer Function/Intervention Analysis. Gwilym Jenkins & Partners Ltd, Time Series Library, Lancaster.

Meeuwissen, B.A.J., Schrama, E.J. en Baggelaar, P.K. (1990): Evaluatie van de gevolgen van de winning te Lith voor de grondwaterstanden en stijghoogten. KIWA N.V., SWO-90.213, Nieuwegein.

WOB (1974): Rapport betreffende een geo-hydrologisch onderzoek t.b.v. een door de N.V. Waterleidingmaatschappij Oost-Brabant te stichten waterwinplaats in de omgeving van Oirschot. N.V. WOB, 's Hertogenbosch.



# PRODUKTIETOENAME EN VERDAMPING VAN LANDBOUWGEWASSEN

G. van der Velde

KIWA N.V.

Afdeling Wining en Bodem

## SAMENVATTING

*Het doel van dit onderzoek is de verandering van de landbouwproductie in de periode 1950 t/m 1988 vast te stellen en vervolgens van de verandering van de gewasverdamping (dit is op te vatten als een vraag naar grondwater) een schatting te maken.*

*Deze veranderde gewasverdamping wordt uitgedrukt als een waterschijf (in millimeters) en als term van een waterbalans (in kubieke meters).*

*Er blijkt een lineair verband te bestaan tussen productie en verdamping. Dat wil zeggen dat ingeval de productie met bijvoorbeeld 30 % stijgt de verdamping met hetzelfde percentage toeneemt. Via dit lineaire verband is de verandering van de gewasverdamping te berekenen.*

*Bij de gewasverdamping wordt onderscheid gemaakt tussen potentiële evapotranspiratie (transpiratie + interceptie + verdamping van water uit of op de grond) en actuele evapotranspiratie. Potentieel wil zeggen maximaal en actueel wil zeggen de verdamping die werkelijk optreedt. In dit onderzoek wordt van de actuele evapotranspiratie uitgegaan. Door de actuele evapotranspiratie tijdens het groeiseizoen te sommeren wordt de cumulatieve actuele evapotranspiratie verkregen.*

*De toegenomen opbrengsten van de belangrijkste akkerbouwgewassen zijn vastgesteld aan de hand van gegevens afkomstig van CBS en LEI. Beide instituten publiceren geen productiecijfers van grasland. De productiecijfers van grasland zijn afkomstig van de Technische Commissie Grondwaterbeheer (Bouwmans, 1990).*

*Het blijkt dat de gewasproductie in de periode 1950 t/m 1988 is toegenomen tussen de 20 % en de 71 %. De toename van de cumulatieve actuele evapotranspiratie bedraagt tussen de 72 mm en de 128 mm. De teelt van de traditionele akkerbouwgewassen is op zandgronden nagenoeg verdwenen. Sinds de zeventiger jaren wordt op de zandgronden op grote schaal snijmaïs verbouwd. Deze veranderde vruchtwisseling heeft gevolgen gehad voor de omvang van de actuele evapotranspiratie. Uitgaande van een bepaalde vruchtwisseling bij gemengde bedrijven is de cumulatieve actuele evapotranspiratie met 84 mm tot 112 mm toegenomen.*

*De toename van de actuele evapotranspiratie kan als een diffuse freatische stationaire grondwateronttrekking worden beschouwd. Derhalve is de toename van de actuele evapotranspiratie in een grondwaterstandsverlaging uit te drukken. Stel dat de termen van een waterbalans van een bepaalde regio sinds 1950 onveranderd zijn en de bergingscoëfficiënt 0,2 bedraagt. In de hiervoor geschetste situatie zal de verlaging van de grondwaterstand variëren tussen de 36 cm t/m 56 cm. Deze verlagingen treden aan het einde van het groeiseizoen op. Aangenomen mag worden dat het min of meer maximale verlagingen zijn.*

*De oppervlakte cultuurgrond is in de periode 1950 t/m 1988 met bijna 15 % verminderd. Ondanks deze afname de totale cumulatieve actuele evapotranspiratie per groeiseizoen in de beschouwde periode met ruim 10 % (633 milj. m<sup>3</sup> per groeiseizoen) toegenomen. De toename van de (oever)grondwateronttrekkingen (exclusief spoelwater) bedraagt in deze periode 592 miljoen m<sup>3</sup> per jaar. Hieruit blijkt dat de toename van de vraag naar grondwater van de landbouwgewassen in de periode 1950 tot en met 1988*

*in dezelfde orde van grootte ligt als de toename van de vraag naar grondwater voor de openbare drinkwatervoorziening.*

*De werkelijkheid is veel gecompliceerder dan in dit onderzoek is verondersteld. Hierbij kan worden gedacht aan het gebruik van de gewasfactor, de aanname dat de watergebruiksefficiëntie constant is en dat de temperatuur, het CO<sub>2</sub>-gehalte en de neerslag in de periode 1950 t/m 1988 gelijk zijn gebleven. Derhalve dienen de resultaten van het onderzoek als indicatieve waarden te worden beschouwd.*

## 1. INLEIDING

Het grondwater is voor vele sectoren in de Nederlandse samenleving van groot belang. Veranderingen van de grondwaterstand, in casu de beschikbaarheid van grondwater per sector of belangengroep, roept het vraagstuk op van een evenwichtige verdeling van het beschikbare grondwater. Bij het verdelingsvraagstuk is het belang dat de maatschappij hecht aan een bepaalde sector of belangengroep van doorslaggevend betekenissen. Als wij kijken naar de waterhuishouding in Nederland in de periode 1950 tot en met 1988 dan blijkt dat in de vijftiger jaren onder anderen in het kader van ruilverkavelingen veel waterbeheersingswerken zijn uitgevoerd. Deze waterbeheersingswerken hadden met name ten doel de wateroverlast die de landbouw ondervond te verminderen.

Ondanks de wateraanvoerplannen die met name in de zeventiger jaren zijn uitgevoerd, is, blijkens de Derde Nota Waterhuishouding, de grondwaterstand sinds de vijftiger jaren gedaald.

In de tachtiger jaren komt het belang van de "natuur" steeds nadrukkelijker op de voorgrond. Van de functies die het grondwater vervult, wordt met name de natuurfunctie door grondwaterstands-dalingen geschaad. Het belang dat op dit moment aan deze natuurfunctie wordt gehecht, en volgens Te Bokkel (Te Bokkel, 1989) een onderwaardering van de landbouw, blijkt onder meer uit de Derde Nota Waterhuishouding. Het beleid is erop gericht dat de afwaterings- en ontwateringsmaatregelen, permanente grondwateronttrekkingen en beregening uit grondwater geen (verdere) nadelige beïnvloeding van verdrogingsgevoelige gebieden optreedt (nat matig voedselarm grasland, nat voedselarm grasland, sloten en oevers, hakhoutbossen/houtsingels).

De in de Derde Nota Waterhuishouding gesignaleerde grondwaterstands-daling is gebaseerd op een door TNO/DGV uitgevoerd onderzoek (Rolf, 1989). Uit dit onderzoek blijkt ondermeer dat in ruilverkavelingsgebieden de gemiddelde daling 35 cm bedraagt, dat de gemiddelde daling buiten de invloedzones van grondwaterwinning 25 cm bedraagt en dat gebieden die niet onder invloed staan van grondwaterwinning en niet in ruilverkavelingsgebieden liggen een gemiddelde daling van 20 cm vertonen.

De grondwaterstands-daling in deze laatst genoemde gebieden wordt achtergrondsverdroging genoemd. Het is een diffuse (regionale) verlaging die in de 50-er, begin 60-er jaren is begonnen.

Mogelijke oorzaken van de achtergrondsverdroging zijn:

- Verlaging van beekpeilen die een regionale ontwateringsfunctie hebben, veroorzaken een geleidelijke structurele daling van de grondwaterstand in de regio.
- Toename van de gebiedsverdamping door bosgroei, bos-omzetting, structurele veranderingen in het agrarisch bouwplan en de produktietoename van de landbouwgewassen.

## 2. DOEL

De toename van de gebiedsverdamping is één van de mogelijkheden waarmee het fenomeen "achtergrondverdroging" kan worden verklaard. De gebiedsverdamping zou, sinds 1950, onder andere kunnen zijn toegenomen door een structureel veranderd bouwplan en een toename van de landbouwproductie.

Het doel van dit onderzoek is de verandering van de landbouwproductie in de periode 1950 t/m 1988 vast te stellen en vervolgens een schatting te maken van de wijzigingen van de gewasverdamping.

De verandering van de verdamping van de landbouwgewassen kan worden opgevat als een veranderde vraag (verbruik) van de landbouw naar grondwater. Grondwater in dit onderzoek wordt gedefinieerd als zijnde water dat zich in de grond bevindt.

Dit eventueel gewijzigde verbruik is met name van belang bij de verdeling van het "beschikbare" grondwater. Ten behoeve hiervan is het zinvol de veranderde vraag van de landbouw uit te drukken in kubieke meters.

Een andere mogelijkheid is het eventueel gewijzigde verbruik van grondwater door de landbouw uit te drukken als een waterschijf in millimeters. Met dit gegeven kan op eenvoudige wijze de veranderde vraag per gebiedseenheid worden vastgesteld.

In dit onderzoek wordt de veranderde vraag van de landbouw naar grondwater zowel in m<sup>3</sup> als in mm uitgedrukt.

## 3. THEORIE

De produktie van gewassen die goed zijn voorzien van water en voedingsstoffen wordt bepaald door de heersende klimaatomstandigheden. De aldus gerealiseerde produktie wordt potentiële produktie ( $P_p$ ) genoemd. Bij vochttekort en/of gebrek aan nutriënten zal de groeisnelheid en dus de produktie kleiner zijn. Dit produktieniveau wordt aangeduid als de actuele of gerealiseerde produktie ( $P_a$ ).

De verdamping van gewassen bij een potentiële produktie wordt potentiële transpiratie (verdamping via de huidmondjes) genoemd ( $T_p$ ). Beperking van de transpiratie door sluiting van de huidmondjes leidt tot een geringere CO<sub>2</sub> opname (groeireduktie). Deze beperkte transpiratie wordt actuele transpiratie ( $T_a$ ) genoemd. Door de transpiratie per groeiseizoen te sommeren wordt de cumulatieve actuele transpiratie verkregen.

Gesteld kan worden dat er een evenredigheid bestaat tussen gewasproductie en transpiratie. De volgende vergelijking kan hiervoor worden opgesteld (Werkgroep Herziening Cultuurtechnisch vademecum, 1988):

$$P_a = A_x \cdot T_a \quad (\text{kg ds ha}^{-1}) \quad (3.1)$$

waarin:

$$\begin{aligned}
 P_a &= \text{aktuele gewasproductie} && (\text{kg ds ha}^{-1}) \\
 T_a &= \text{cumulatieve aktuele transpiratie} && (\text{mm}) \\
 A_x &= \text{watergebruiks-efficiëntiefactor} && (\text{kg ds ha}^{-1}\text{mm}^{-1}) \\
 \text{ds} &= \text{droge stof}
 \end{aligned}$$

Het is moeilijk om de transpiratie van gewassen op het veld te bepalen. Meestal wordt bij veld- en lysimeterproeven via waterbalansberekeningen de evapotranspiratie ( $E$ ) vastgesteld. De evapotranspiratie is de som van transpiratie, interceptie en bodemverdamping. Vergelijking 3.1 kan dan als volgt, in termen van evapotranspiratie, worden geschreven:

$$P_a = A_y \cdot E_a \quad (\text{kg ds ha}^{-1}) \quad (3.2)$$

waarin:

$$E_a = \text{cumulatieve aktuele evapotranspiratie (mm)}$$

In dit onderzoek dient er een verband gelegd te worden tussen de produktie en evapotranspiratie in 1950 en 1988. Dit verband kan worden verkregen door vergelijking 3.2 voor de jaren 1950 en 1988 op te stellen en vervolgens te delen. De volgende vergelijking wordt verkregen:

$$P_{a1}/P_{a2} = A_{y1}/A_{y2} \cdot E_{a1}/E_{a2} \quad (\text{kg ds ha}^{-1}) \quad (3.3)$$

waarin:

$$1 = 1950$$

$$2 = 1988$$

Er zijn geen gegevens gevonden betreffende een verschil tussen de watergebruiksefficiëntie in de jaren 1950 en 1988 (zie paragraaf 4.2). Derhalve wordt aan genomen dat  $A_{y1} = A_{y2}$ . Vergelijking 3.3 wordt dan als volgt geschreven:

$$P_{a1}/P_{a2} = E_{a1}/E_{a2} \quad (\text{kg ds ha}^{-1}) \quad (3.4)$$

waarin:

$$P_{a1} = \text{aktuele gewasproductie in 1950} \quad (\text{kg ds ha}^{-1})$$

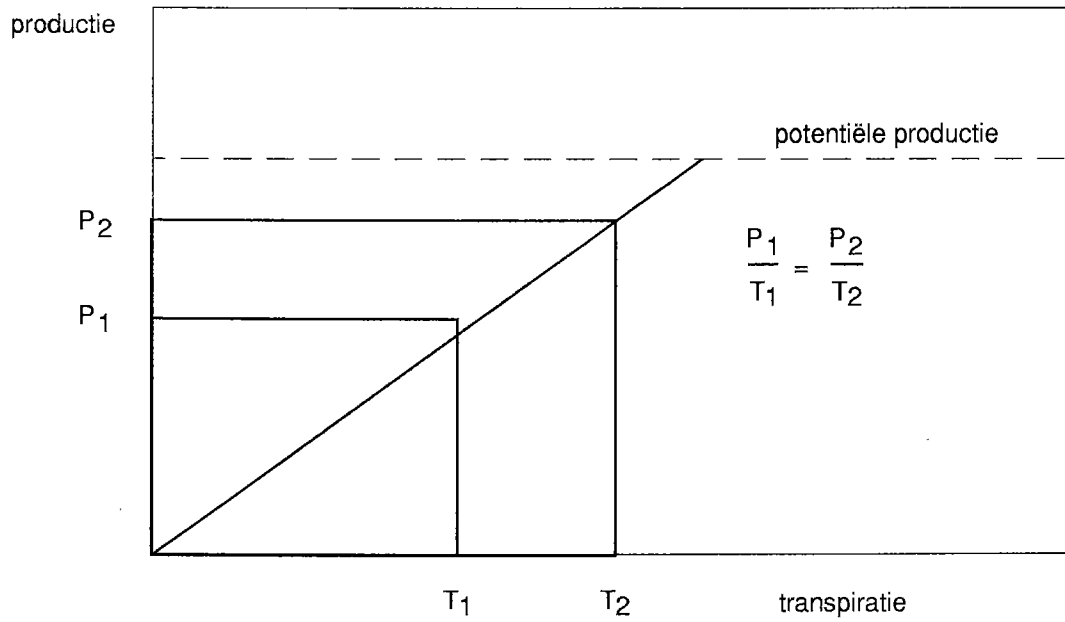
$$E_{a1} = \text{cumulatieve aktuele evapotranspiratie in 1950 (mm)}$$

$$P_{a2} = \text{aktuele gewasproductie in 1988} \quad (\text{kg ds ha}^{-1})$$

$$E_{a2} = \text{cumulatieve aktuele evapotranspiratie in 1988 (mm)}$$

Ter verduidelijking is vergelijking 3.4 grafisch in figuur 3.1 weergegeven.

Uit figuur 3.1 blijkt tevens dat er een rechtevenredig verband aangenomen mag worden tussen de relatieve produktie ( $P_a/P_p$ ) en de relatieve evapotranspiratie ( $E_a/E_p$ ).



**Figuur 3.1** Verband tussen transpiratie en produktie

## 4. OPZET EN UITVOERING ONDERZOEK

Bij de opzet van het onderzoek was de eerste vraag: Is de produktie van landbouwgewassen in de periode 1950 - 1988 toegenomen? En zo ja, hoeveel? Vervolgens deden zich de vragen voor of in betreffende periode het landbouwareaal zich heeft gewijzigd en hoe groot het verschil is tussen de aktuele evapotranspiratie in 1950 en 1988.

In de volgende paragrafen worden op deze vragen in gegaan.

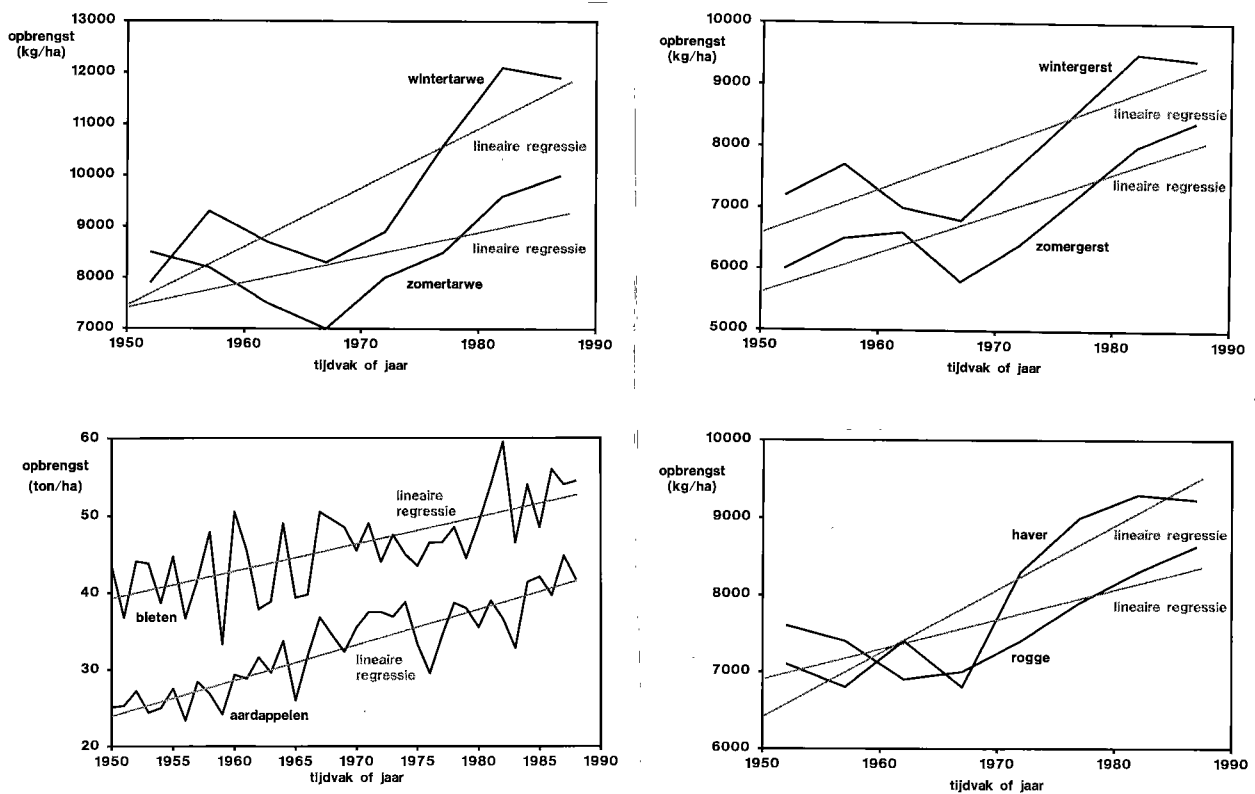
### 4.1 Toename landbouwproduktie

Bij het beantwoorden van de vraag of de produktie van landbouwgewassen is toegenomen dient uit te worden gegaan van de gerealiseerde opbrengsten. Het LEI/CBS publiceren elk jaar "landbouwcijfers". Hierin worden de jaarlijkse produkties van de voornaamste Nederlandse landbouwprodukten gepubliceerd. Gezien het globale karakter van dit onderzoek wordt uitgegaan van de opbrengsten van de voornaamste akkerbouwgewassen en grasland. De geringe oppervlakte van tuinbouwgewassen en braak land gevoegd bij het feit dat tuinbouw veelal in kassen plaatsvindt leidt tot de veronderstelling dat tuinbouw en braak land een verwaarloosbare invloed op de totale vraag naar grondwater hebben.

De in het onderzoek betrokken akkerbouwgewassen zijn: aardappelen (fabrieks-, consumptie- en pootaardappelen), bieten (voeder- en suikerbieten), maïs, rogge, tarwe (winter- en zomertarwe),



gerst (winter- en zomergerst) en haver. De produkties van deze akkerbouwgewassen zijn verkregen uit de jaarlijks gepubliceerde "landbouwcijfers". Deze gepubliceerde cijfers zijn "vanaf boerderij". Ze geven dus aan wat de boer afgeleverd heeft. Er bestaat in principe een verschil tussen de bruto produktie op het veld en de produktie die door de boer wordt afgeleverd (veld-, oogst-, transport-, en bewaringsverliezen). Er wordt aangenomen dat het verschil tussen bruto veldproduktie en afgeleverd produkt sinds 1950 onveranderd is, of dat de verandering verwaarloosbaar klein is. In principe zou het mogelijk zijn dat de verhouding tussen de totale produktie van gewas ten opzichte van de oogstbare delen sinds 1950 is veranderd. In dit onderzoek is met een dergelijke verandering geen rekening gehouden. Wel is bij de granen de stro-produktie meegenomen.



**Figuur 4.1.1** Het verloop van de produktie van de belangrijkste Nederlandse akkerbouwgewassen (excl. snijmaïs) in de periode 1950 t/m 1988.

In figuur 4.1.1 zijn de produktieveranderingen van de belangrijkste akkerbouwgewassen in de periode 1950 t/m 1988 geschetst. Hierbij moet worden opgemerkt dat bij aardappelen en bieten de jaarlijkse produktie zijn weergegeven en bij de granen het gemiddelde per 5 jaar.

Vervolgens is met de kleinste kwadratenmethode de lineaire regressie vastgesteld. Op grond hiervan worden de volgende produktiestijgingen vastgesteld:

**Tabel 4.1.1** *Produktietoename landbouwgewassen t.o.v. 1950*

Aardappelen	71%
Bieten	33%
Gerst*	42%
Tarwe*	43%
Rogge	20%
Haver	48%
Grasland	23%

\*De toename van de produktie van de winter- en zomergranen zijn gemiddeld.

De produktie van grasland wordt niet in de landbouwcijfers vermeld. Hiervoor is uitgegaan van de cijfers die de Technische Commissie Grondwaterbeheer hanteert (Bouwman, 1990). In tabel 4.1.2. wordt voor de onderscheiden periode de droge stof produktie vermeld.

**Tabel 4.1.2** *Gemiddelde bruto potentiële produktie van grasland.*

Periode	$P_p$ (kg ds/ha)	$P_a$ (kg ds/ha)
voor 1957	11.000	9.350
1958 t/m 1962	11.500	9.775
1963 t/m 1967	12.000	10.200
1968 t/m 1972	12.500	10.625
1973 t/m 1979	13.000	11.050
vanaf 1980	13.500	11.475

In dit onderzoek is de gerealiseerde produktie van belang. Voor normale veldomstandigheden kan ervan worden uitgegaan dat de gerealiseerde graslandproduktie 15% (Bouwman, 1990) lager ligt (zie kolom 2 van tabel 4.1.2).

## 4.2 Toename actuele verdamping

De toename van de actuele verdamping in de periode 1950 - 1988 moet geschoond zijn van toevallige weersomstandigheden. Dit is mogelijk door de gemiddelde verdamping, per groeiseizoen, vast te stellen. In dit onderzoek is uitgegaan van de gemiddelde open water verdamping tijdens het groeiseizoen van de periode 1911 t/m 1975 (Bruin, 1979).

Met behulp van de volgende vergelijking kan de potentiële evapotranspiratie worden verkregen:

$$E_p = f \cdot E_o \quad (\text{mm}) \quad (4.2.1)$$

waarin:

$E_p$  = potentiële evapotranspiratie (mm)

$f$  = gewasfactor behorend bij Penman

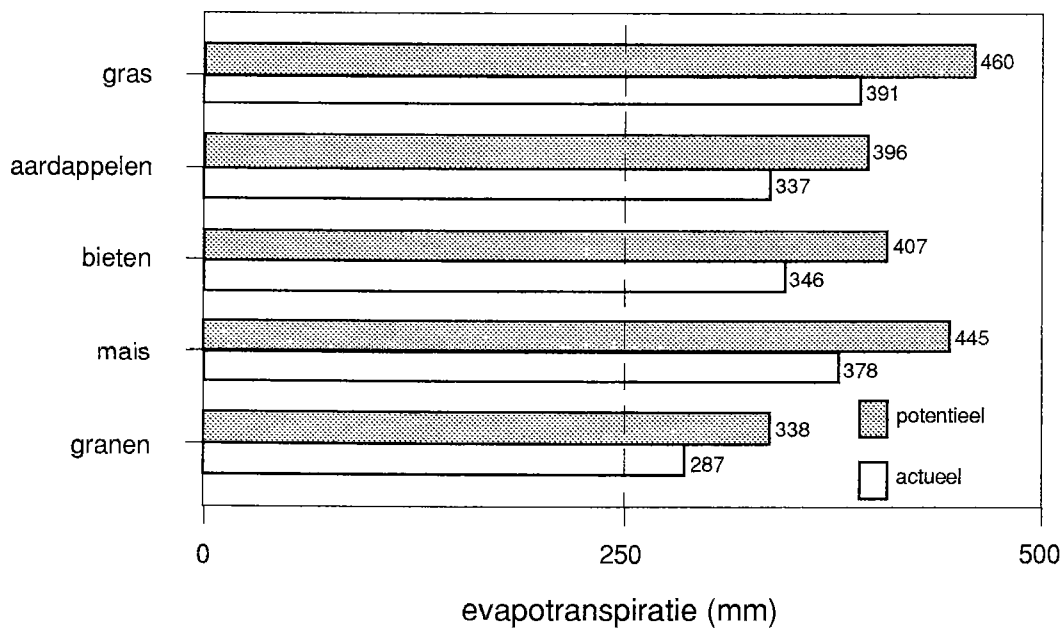
$E_o$  = open water verdamping volgens Penman (mm)

De in dit onderzoek toegepaste gewasfactoren zijn ontleend aan de Project- en Begeleidingsgroep Verdampingsberekeningen, 1988. Deze gewasfactoren horen bij de open water verdamping die volgens de Penman-formule is vastgesteld.

Het groeiseizoen kan per gewas verschillen. In de berekeningen begint het groeiseizoen in principe op 1 april en eindigt in de derde decade van september. Ingeval in deze periode de grond onbedekt is wordt de verdamping van de kale grond berekend met een factor van 0,3.

De potentiële evapotranspiratie wordt per decade bepaald. Door de gegevens per decade te sommeren wordt de cumulatieve potentiële verdamping verkregen.

In figuur 4.2.1. wordt de potentiële en actuele evapotranspiratie weergegeven.



**Figuur 4.2.1.** De potentiële en actuele evapotranspiratie van de belangrijkste landbouwgewassen

De actuele evapotranspiratie, waarmee wordt gerekend, is 15% geringer dan de potentiële verdamping.

Vergelijking 3.4 is om te werken naar de volgende vergelijking:

$$E_{a1} = E_{a2} / P_{a2} \cdot P_{a1} \quad (\text{mm}) \quad (4.2.2)$$

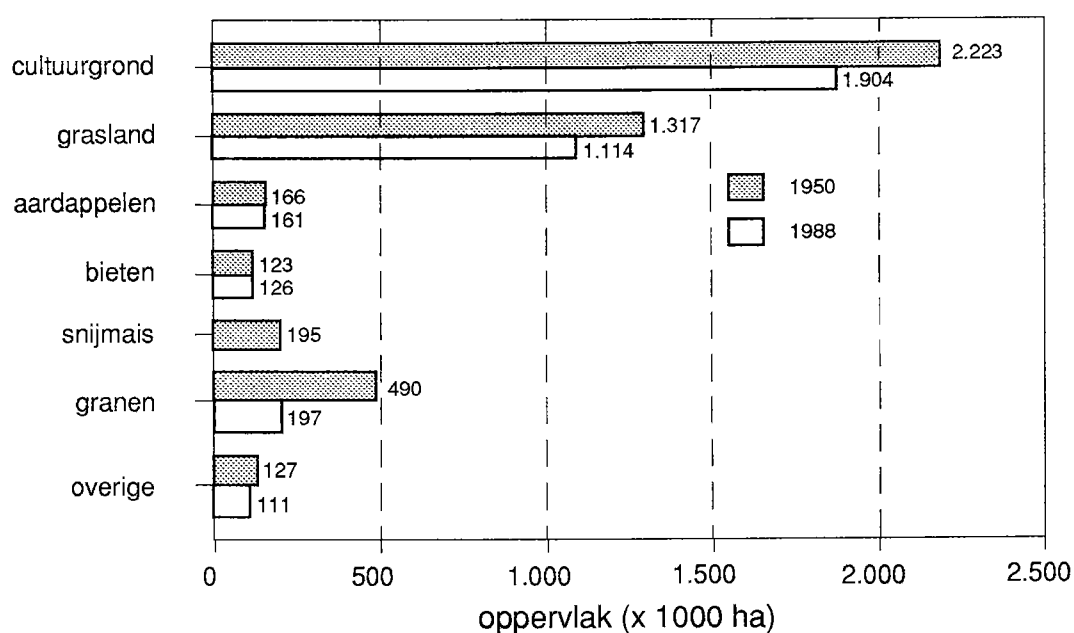
De cumulatieve evapotranspiratie in 1950 ( $E_{a1}$ ) kan nu worden berekend omdat de cumulatieve evapotranspiratie in 1988 ( $E_{a2}$ ), de actuele gewasproductie in 1988 ( $P_{a2}$ ) en in 1950 ( $P_{a1}$ ) bekend zijn.

Volledigheidshalve wordt opgemerkt dat bij de berekening van de toename van de gemiddelde cumulatieve actuele evapotranspiratie de verdamping van de kale grond buiten de berekening is gehouden.

### 4.3 Oppervlakte cultuurgrond en gewas-arealen

De oppervlakte cultuurgrond is en de gewas arealen worden in "landbouwcijfers" vermeld. Volgens de LEI/CBS gegevens (1950; 1988) is in de periode 1950 t/m 1988, de oppervlakte cultuurgrond met bijna 15% verminderd.

In figuur 4.3.1 wordt de oppervlakte cultuurgrond en de gewas-arealen weergegeven.



**Figuur 4.3.1.** Oppervlakte cultuurgrond en gewas-arealen in gemeten maat (exclusief tuinbouw en braak). Bron: LEI/CBS (Landbouwcijfers, 1950; Landbouwcijfers 1988).

De in figuur 4.3.1 weergegeven oppervlakte is uitgedrukt in de zogenaamde "gemeten maat". Hiermee wordt de oppervlakte bedoeld waar daadwerkelijk gewassen worden verbouwd. Dit in tegenstelling tot de zogenaamde kadastrale maat. De kadastrale maat is de gemeten maat plus eventuele paden, erf en opstallen, sloten, bermen etc. De kadastrale maat zal dus in het algemeen groter zijn dan de gemeten maat.

Uit figuur 4.3.1 blijkt, zoals reeds is opgemerkt, dat de oppervlakte cultuurgrond van 1950 t/m 1988 met bijna 15% is verminderd. Wordt de oppervlakte maïs tot de akkerbouwgewassen gerekend dan is de vermindering van grasland ruim 15% en van bouwland bijna 13%.

Bij de akkerbouw is de areaalvermindering van granen ten gunste van maïs opvallend. Behalve maïs werden er in 1988 bijna geen akkerbouwproducten meer op de zandgronden verbouwd.

## 5. BEREKENINGSRESULTATEN

In paragraaf 3.2 is aangegeven dat de berekeningsresulten als term van een waterbalans ( $m^3$ ) zullen worden vermeld en als een waterschijf in millimeters per gebiedseenheid. In de volgende twee paragrafen wordt hierop ingegaan.

### 5.1 Toename grondwaterverbruik uitgedrukt in millimeters

Met vergelijking 4.2.2 is de actuele evapotranspiratie in 1950 berekend. Door de actuele evapotranspiratie in 1988 te verminderen met die in 1950 wordt de toename van het grondwaterverbruik verkregen. De berekeningsresultaten zijn in tabel 5.1.1 vermeld.

**Tabel 5.1.1.** De toename van de gemiddelde cumulatieve actuele evapotranspiratie per groeiseizoen.

Aardappelen	128 mm
Bieten	82 mm
Granen*	74 mm
Grasland	72 mm

\*Gemiddelde waarde van de verschillende granen

Op de zandgronden komen van ouds gemengde bedrijven (grasland en akkerbouw) voor. Zoals reeds in paragraaf 4.3 is opgemerkt is de teelt van aardappels, bieten en granen op de zandgronden nagenoeg verdwenen. Veelal is maïs hiervoor in de plaats gekomen. Productiegegevens van maïs in 1950 zijn niet in de LEI/CBS opgenomen (een te onbeduidend gewas in die jaren). De produktietoename van maïs is derhalve niet berekend. De effecten op het verbruik van grondwater tengevolge van de veranderingen van het bouwplan kunnen als volgt worden aangegeven: Uitgaande van een gemengd bedrijf in 1950, waar 50% van de oppervlakte grasland is en op de andere helft akkerbouwgewassen worden verbouwd met een vruchtwisseling van 1 maal per drie jaar; aardappelen, bieten en graan. In 1988 worden er twee bedrijven onderscheiden. Bedrijf I waar de vruchtwisseling sinds 1950 gelijk is gebleven en bedrijf II waar in de plaats van aardappelen, bieten (voerbieten) en granen, maïs wordt verbouwd.

De toename van de cumulatieve actuele evapotranspiratie is als volgt te berekenen:

<i>Bedrijf I</i>	
Grasland	72 mm
Akkerbouw -aardappelen	128 mm
-bieten	82 mm
-granen	74 mm
Gem. toename akkerbouw	94 mm
Gem. toename bedrijf I	84 mm
<i>Bedrijf II</i>	
Grasland	72 mm
Akkerbouw -maïs	150 mm
Gem. toename bedrijf II	112 mm

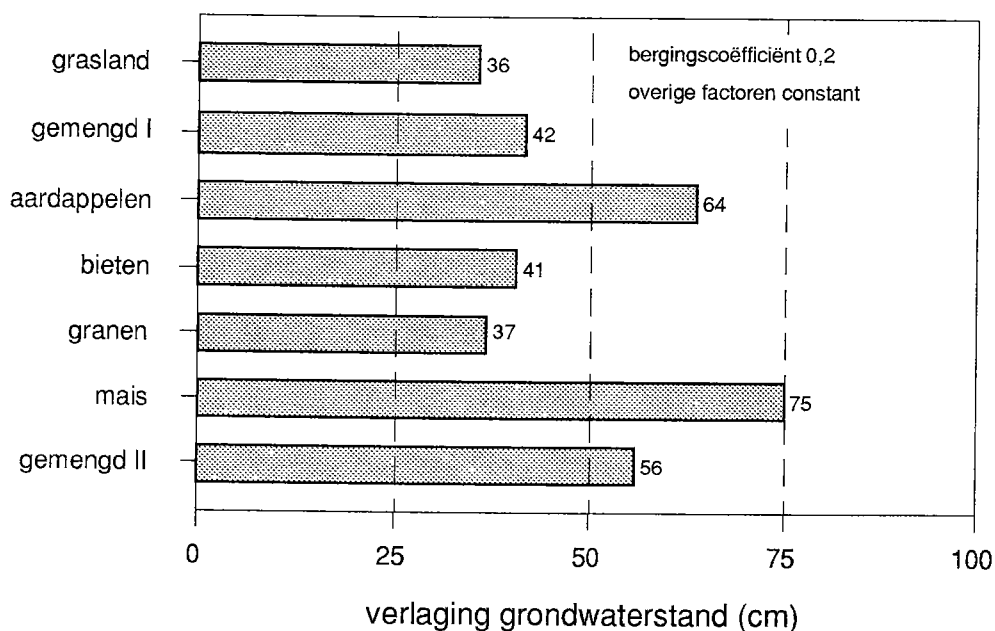
In het voorgaande is uitgegaan van een algemene trend waarbij akkerbouwproducten vervangen zijn door maïs. Het zal ongetwijfeld ook voorkomen dat aardappelen, bieten en granen vervangen zijn door grasland, of dat grasland vervangen is door maïs. Is de verandering van de vruchtwisseling anders dan in dit onderzoek verondersteld dan kan dat van invloed zijn op de toename van de gemiddelde cumulatieve actuele evapotranspiratie per groeiseizoen.

Om een voorbeeld te noemen: De gemiddelde cumulatieve actuele evapotranspiratie per groeiseizoen van grasland is 12 mm hoger dan dat van maïs. Ingeval de akkerbouw door grasland is vervangen dient hiervoor te worden gecorrigeerd. De actuele evapotranspiratie neemt daardoor per groeiseizoen toe. Ingeval grasland door maïs is vervangen neemt de actuele evapotranspiratie met 12 mm per groeiseizoen af.

De toegenomen verdamping kan worden vertaald in grondwaterstands dalingen. Hierbij wordt verondersteld dat sinds 1950 alle overige termen van een waterbalans van een regio (hydrologische eenheid) tot 1989 constant zijn gebleven. Met andere woorden de oppervlakte aan- en afvoer, de neerslag, de grondwater voorraad, de kwel en de basisafvoer etc. zijn onveranderd. Het betreffende gebied wordt als een grote bak beschouwd waaruit een diffuse stationaire freatische onttrekking, tijdens het groeiseizoen, plaatsvindt. De grootste grondwaterstandsverlaging treedt aan het einde van het groeiseizoen op. Afhankelijk van de aanvulling van het grondwater tijdens de winter zal de voorjaarsgrondwaterstand hoger, gelijk of lager dan de voorjaarsgrondwaterstand van het jaar daarvoor zijn. In dit rapport wordt aangenomen dat de voorjaarsgrondwaterstand constant is. De bergingscoëfficiënt wordt op 0,2 gesteld. (Dit betekent dat een grondlaag van 10 cm een waterlaag van 20 mm kan bergen. Anders gezegd: Een toename van de verdamping van 20 mm heeft een grondwaterstands daling van 10 cm tot gevolg).

De aldus verkregen grondwaterstands dalingen zijn in figuur 5.1.1 weergegeven.

De in figuur 5.1.1 gepresenteerde grondwaterstands dalingen kunnen worden geïnterpreteerd als zijnde inclusief de gemiddelde verlagingen die tengevolge van onttrekkingen van het grondwater ten behoeve van beregening optreden (aangenomen dat de beregeningsverliezen grotendeels aan het grondwater ten goede komen). Deze conclusie kan worden getrokken omdat de toename van de actuele evapotranspiratie tengevolge van beregening in de actuele productie van 1988 is verwerkt. In werkelijkheid zal echter de grondwaterstandsverlaging wellicht geringer zijn dan de in figuur 5.1.1 gepresenteerde. De in de berekening veronderstelde constanten zullen in werkelijkheid niet constant zijn. Er kan bijvoorbeeld worden aangenomen dat uitgaande van statistische dezelfde klimatologische omstandigheden in 1988, in droge perioden, meer oppervlaktewater naar landbouwgronden werd aangevoerd dan in 1950. Hierdoor zal de grondwaterstand minder dalen dan in figuur 5.1.1 is vermeld.



**Figuur 5.1.1** *Verlaging grondwaterstand door een toegenomen actuele productie en verandering vruchtwisseling*<sup>1</sup>

## 5.2 Toename grondwaterverbruik uitgedrukt in kubieke meters

Naast de daling van de grondwaterstand tengevolge van de toename van de actuele evapotranspiratie van landbouwgewassen is het zinvol de totale vraag van de landbouwgewassen naar grondwater te berekenen. Voor de belangrijkste landbouwgewassen is de toegenomen actuele evapotranspiratie vastgesteld. Voor de overige landbouwgewassen wordt gemakshalve aangenomen dat de productie en de evapotranspiratie in de periode 1950 t/m 1988 zich niet hebben gewijzigd. In tabel 5.2.1 wordt de vraag naar grondwater van de landbouwgewassen in 1950 en 1988 weergegeven.

Uit tabel 5.2.1 blijkt dat ondanks de afname van de cultuurgrond in Nederland, de totale vraag naar grondwater van de landbouwgewassen in de periode 1950 t/m 1988 met 10% is toegenomen. Wordt uitgegaan van eenzelfde oppervlakte (het gewasareaal 1988 is gelijk aan het gewasareaal in 1950) dan is de toename van de vraag ruim 30%. Hierbij is verder aangenomen dat maïs verwisseld is met granen.

<sup>1</sup> De voor maïs berekende grondwaterstandsverlaging wordt in zijn geheel door verandering van de vruchtwisseling veroorzaakt.

Tabel 5.2.1 De vraag naar grondwater van de landbouwgewassen in 1950 en 1988.

	Opper- vlakte (1000 ha)	E <sub>p</sub> (mm)	1950 (m <sup>3</sup> )	Opper- vlakte (1000 ha)	E <sub>p</sub> (mm)	1988 (m <sup>3</sup> )
Granen	490	251	1.229.900.000	197	338	666.860.000
Peulvruchten	36	254	91.440.000	44	254	111.760.000
groen te oogsten						
erwten en uien				20	254	50.800.000
Handelsgew.	50	338	169.000.000	14	338	47.320.000
Landbouwzaden	7	338	23.660.000	25	338	84.500.000
Aardappelen	166	245	406.700.000	161	396	637.560.000
Bieten	123	312	383.760.000	126	407	512.820.000
Groenv. gew.	27	445	120.150.000	4	445	17.800.000
Maïs				195	445	867.750.000
Groenbem.	4	445	17.800.000	1	445	4.450.000
Overige akkerb.	2	338	6.760.000	4	338	13.520.000
Totaal Akkerb.	905		2.449.170.000	791		3.014.140.000
Akkerbouw (E <sub>a</sub> )			2.081.795.000			2.562.019.000
Grasland (E <sub>a</sub> )	1.317	319	4.201.230.000	1.114	391	4.355.740.000
Landbouw (E <sub>a</sub> )	2.222		6.283.025.000	1.906		6.917.759.000

Toename E<sub>a</sub>: 634.735.000 m<sup>3</sup> (Excl. kunstweide, braakland en tuinbouw)

Naar aanleiding van het voorgaande rijst de vraag: Wat is de omvang van de grondwateronttrekkingen voor de openbare drinkwatervoorziening? Uit het rapport "waterleidingstatistiek 1988" (de Statistiekcommissie, 1990) blijkt dat in 1950 164,3 miljoen m<sup>3</sup> (oever)grondwater werd onttrokken. In 1988 was deze onttrekking opgelopen tot 756,2 miljoen m<sup>3</sup> (exclusief spoelwater). Dit is een toename van 592 miljoen m<sup>3</sup>.

Uit het voorgaande blijkt dat de totale vraag van de landbouwgewassen in 1988 ongeveer 9 maal zo groot is als de vraag naar grondwater voor de openbare drinkwatervoorziening. De toename van de vraag naar grondwater van de landbouwgewassen ligt in de periode 1950 t/m 1988 in dezelfde orde van grootte als de toename van de vraag naar grondwater voor de openbare drinkwatervoorziening.



## 6. ENKELE OPMERKINGEN

Uit het onderzoek blijkt dat de vraag van de landbouwgewassen naar grondwater in de periode 1950 t/m 1988 mogelijk is toegenomen met 72 mm tot 150 mm. Deze en andere onderzoeksresultaten moeten als indicatieve waarden worden beschouwd. Hierbij zijn onder andere de volgende opmerkingen van belang:

- Gewasfactor

De evapotranspiratie van gewassen is een ingewikkeld proces tussen atmosfeer en gewas (en eventueel bodem). Het blijkt dat met behulp van gewasfactoren de potentiële gewasverdamping binnen zekere grenzen kan worden aangegeven. Romijn (1985) toont aan dat de gewasfactor kan variëren tussen 0,6 en 0,9.

In dit onderzoek wordt uitgegaan van een statistisch bepaald gemiddeld jaar. Indien door toepassing van gewasfactoren fouten zijn gemaakt zijn deze fouten in 1950 en 1988 gemaakt en zullen ze geheel of gedeeltelijk tegen elkaar wegvallen.

- Watergebruiksefficiëntie

Er zijn vele factoren die aan de toegenomen gewasproductie hebben bijgedragen. In het vervolg worden enkele van deze factoren genoemd.

- 1 Langer groeiseizoen: Met name door het voorkomen van wateroverlast kan de gewasgroei in het voorjaar vroeger beginnen en later in het najaar doorgaan. Voor bijvoorbeeld grasland mag worden aangenomen dat het groeiseizoen ongeveer met een maand is toegenomen.
- 2 Gewasbescherming: Door "betere" (in de zin van produktietoename) gewasbeschermingsmaatregelen te treffen is de gewasproductie gestegen. Een goed voorbeeld hiervan is de sterke stijging van de aardappelproductie. Hierbij moet tevens een relativerende opmerking worden gemaakt. Namelijk door het gebruik van onkruidbestrijdingsmiddelen zal het aantal (oppervlakte) onkruiden in de periode 1950 t/m 1988 zijn verminderd. De eventuele verminderde verdamping van de onkruiden die met name bij de akkerbouwgewassen een rol kan spelen is in dit onderzoek niet meegenomen.
- 3 Oogstmethode: Door mechanisatie en automatisering kan sneller worden geoogst. De veranderingen van oogst- en beweidingmethode zijn bij grasland opvallend. Door deze veranderingen kan de hergroei veel sneller beginnen. Ter indicatie: Door verandering van de oogstmethode (voordroogkuil in plaats van hooi) bij grasland wordt geschat dat per snede de zogenaamde veldperiode (dat is de tijd tussen maaien en het moment dat het gemaaid gras van het land is gehaald) met ruim een week wordt bekort. Indien men in 1950 twee maal per jaar hooide zou in totaal al ruim veertien dagen zijn gewonnen.
- 4 Grondverbetering: Vele gronden zijn sinds 1950 in Nederland op de "schop" gegaan om bijvoorbeeld storende lagen te breken, zanderige lagen te mixen met goed vochthoudend materiaal of zware kleilagen te bezanden. In zijn algemeenheid zullen grondverbeteringswerken een hogere gewasproductie tot gevolg hebben door enerzijds een vermindering van wateroverlast en anderzijds door verbetering van de watervoorziening tijdens droge perioden.
- 5 Wateraanvoer: Door in droge perioden oppervlaktewater aan te voeren zijn de gewassen, bijvoorbeeld via beregning en/of peilverhoging, beter in staat optimaal te produceren. In de zeventiger jaren is met name in Nederland het beregenen van grasland en akkerbouwgewas-

sen (aardappelen) in zwang geraakt.

- 6 Gewasverbetering: Door selectie is het mogelijk dat gewassen andere eigenschappen krijgen. Het is niet onmogelijk dat door selectie de waterefficiëntie toeneemt. De hoogproductieve gewassen zouden derhalve efficiënter met water kunnen omgaan. Bij grasland wordt de grasmat regelmatig gescheurd en met een bepaald mengsel ingezaaid. De botanische samenstelling van de grasmat heeft zich drastisch gewijzigd, ook al vanwege een veranderd bemestingsregiem. Het is niet onmogelijk dat de watergebruiksefficiëntie van grasland hierdoor is veranderd.
- 7 Bemesting: Er zijn aanwijzingen dat met name de stikstofbemesting de efficiëntie van het waterverbruik van het gewas beïnvloedt (Van Boheemen, 1981). Aan de hand van beregningsproeven te Heino in de jaren 1982, 1983 en 1984 is wellicht in de toekomst de invloed van de stikstofbemesting op de watergebruiksefficiëntie vast te stellen.
- 8 Meteorologische omstandigheden: De watergebruiksefficiëntie kan binnen en tussen groeiseizoenen verschillen. Afhankelijk van het tijdstip van het jaar varieert deze factor tussen de 3000 tot 3500 kg/ha.cm.mbar (Peerboom, 1990). Volgens Van Boheemen (1981) is de watergebruiksefficiëntie afhankelijk van de hoogte van het stralingsniveau. Omdat in dit onderzoek wordt uitgegaan van statistisch bepaalde gemiddelde weersomstandigheden is de watergebruiksefficiëntie constant verondersteld.

Uit het voorgaande blijkt dat produktieverhoging tengevolge van de punten 1 tot en met 5 wellicht een verwaarloosbare invloed zal hebben op de watergebruiksefficiëntie. Door de punten 6 en 7 zal wellicht de watergebruiksefficiëntie toenemen terwijl punt 8 heeft geen invloed heeft op de in dit rapport berekende resultaten.

#### - Temperatuur

Er zijn aanwijzingen dat de gemiddelde temperatuur op de wereld stijgt en dus ook in Nederland. Als vast komt te staan dat de temperatuur gemiddeld in Nederland is gestegen dan zal dat zijn invloed hebben op de landbouwproductie. Met name zal de produktie van de zogenaamde C<sub>4</sub>-soorten (in gematigde streken is de temperatuur voor C<sub>4</sub>-soorten suboptimaal), als maïs en suikerbieten toenemen (Kropff en Spitters, 1988). De watergebruiksefficiëntie zal wellicht door een dergelijke temperatuurstijging worden beïnvloed.

#### - CO<sub>2</sub>-gehalte

Door de wereldwijde verbranding van fossiele brandstof neemt wellicht het CO<sub>2</sub>-gehalte in de atmosfeer toe. Bij een toename van het CO<sub>2</sub>-gehalte zal naar alle waarschijnlijkheid de landbouwproductie toenemen (Goudriaan, 1988). De watergebruiksefficiëntie zal wellicht door een stijging van het CO<sub>2</sub>-gehalte worden beïnvloed.

#### - Neerslag

Door toename van de actuele verdamping zal de lucht vochtiger worden. Theoretisch zouden hierdoor de neerslagkansen toenemen. Het is niet bekend of de neerslag in de periode 1950 t/m 1988 is toegenomen. In dit rapport is de neerslag constant verondersteld.

## 7. LITERATUUR

- Boheemen, P.J.M. van, 1981: Toename van de produktie van grasland bij verbetering van de watervoorziening. ICW nota 1298, Wageningen.
- Bokkel, A.Th. te, 1989: Onderwaardering landbouw blijkt uit behandeling verdroging. Staatscourant 192 (toespraak op het seminar over de Derde Nota Waterhuishouding).
- Bouwmans, J.M.M., 1990: Achtergrond en Toepassing van de TCGB-tabel. Een methode voor het bepalen van de opbrengstdepressie van grasland op zandgrond als gevolg van een grondwaterstandsverlaging. Technische Commissie Grondwater Beheer, Nota Secretariaat, Utrecht.
- Bruin, H.A.R. de, 1979: Neerslag, openwatervedamping en potentieel neerslagoverschot in Nederland. Frequentieverdelingen in het groeiseizoen. Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut W.R. 79-4, De Bilt.
- Goudriaan, J., 1988: Landbouw en Klimaat. Lucht en Omgeving, maart 1988.
- Kropff, M.J., C.J.T. Spitters, 1988. Grondslagen Plantaardige Produktie. Landbouwuniversiteit, Wageningen.
- Landbouw-Economisch Instituut, Centraal Bureau voor de Statistiek, 1950 t/m 1988: Landbouwcijfers. Landbouw-Economisch Instituut, Centraal Bureau voor de Statistiek, s'Gravenhage.
- Peerboom, J.M.P.M., 1990: Waterhuishoudkundige schadefuncties op grasland. Staring Centrum, Rapport 43, Wageningen.
- Project- en Begeleidingsgroep Verdampingsberekeningen, 1988: Van Penman naar Makkink; een nieuwe berekeningswijze voor de klimatologische verdampingsgetallen. Commissie voor Hydrologisch Onderzoek TNO, Rapporten en Nota's no. 19, s'Gravenhage.
- Rolf, H.L.M., 1989: Verlaging van de Grondwaterstand in Nederland. Dienst Grondverkenning TNO.
- Romijn, E., 1985: Valkuilen bij het bepalen van de potentiële verdamping van grasland door middel van 'f'-factoren. H2O 12/85.
- De Statistiekcommissie, 1990: Waterleidingstatistiek. Vereniging van Exploitantanten van Waterleidingbedrijven in Nederland VEWIN, Rijswijk.
- Werkgroep Herziening Cultuurtechnisch vademecum, 1988: Cultuurtechnisch vademecum. Cultuurtechnische vereniging, Utrecht.

# ONDERZOEK NAAR INDICATORSOORTEN VOOR VERDROGING, VERZURING EN EUTROFIËRING

M.H. Jalink  
KIWA N.V.  
Afdeling Winning en Bodem

## SAMENVATTING

*In het kader van een deelname in het VEWIN-speurwerk door Staatsbosbeheer en de Directie Natuur, Milieu en Faunabeheer wordt door KIWA onderzocht welke indicaties kunnen worden ontleend aan de verspreiding van plantesoorten en aan veranderingen daarin. Deze indicatiewaarden kunnen middels monitorprojecten worden gebruikt voor het bewaken van de floristische en vegetatiekundige kwaliteit van natuurgebieden. Daarnaast kunnen ze worden gebruikt voor het monitoren van effecten van ingrepen in het landschap. Een derde belangrijke mogelijkheid is het gebruik voor landschapsecologische analyses bij het voorspellen van de effecten van ingrepen in het landschap.*

*Bij dit onderzoek wordt uitgegaan van onderscheidbare landschapstypes, zoals beekdalen en trilveenmoerassen. Door deze benadering is het mogelijk niet alleen de indicatie van soorten te bepalen ten aanzien van directe invloeden, zoals voedselrijkdom en grondwaterstand, maar ook ten aanzien van factoren, die in het landschap sturend werken, zoals grondwaterkwaliteit en grondwaterstroming. Bij de uitwerking wordt voorts uitgegaan van het aangeven van de indicatiewaarde binnen de vegetatietypen, waarin de soorten voorkomen. Op deze wijze wordt de spreiding in de milieufactoren veel kleiner en is een veel scherper gedefinieerde indicatiewaarde aan te geven. De relatie tussen plantesoorten, vegetatietypen en milieufactoren wordt onderzocht aan de hand van een aantal concrete natuurreservaten en vervolgens getoetst aan literatuurgegevens. Uiteindelijk levert dit per landschapstype en per vegetatietype een lijst van soorten op, die duidelijke indicaties geven ten aanzien van de ter plekke heersende milieufactoren en veranderingen daarin.*

## 1. INLEIDING

De problematiek rond de ecologische effecten van grondwaterwinning wordt door KIWA o.a. uitgewerkt in het project Ecologische Aspecten van de Commissie Invloed van Grondwaterwinning op de Omgeving (CIGO-EA; zie Jansen, deze mededeling). Doel van dit project is het opzetten van een methode om zo concreet en gedetailleerd mogelijk deze effecten te kunnen voorspellen. Een gedetailleerde gebieds-interpretatie op basis van indicaties ontleend aan de verspreiding van plantesoorten en vegetatietypen kan daarbij een belangrijk hulpmiddel zijn (zie b.v. Everts en De Vries, 1987; Jansen, 1990; Jalink, 1990). Daarnaast is het van belang een monitorsysteem te ontwikkelen voor het beschrijven en volgen van de ecologische effecten grondwaterwinningen. Dit monitorsysteem bestaat eruit, dat periodiek wordt nagegaan of de verspreiding van een aantal specifieke plantesoorten en vegetatietypen verandert. Het systeem kan worden gebruikt om de opgetreden effecten na enkele jaren te evalueren. Op die wijze kan het een belangrijke inbreng leveren bij het beoordelen van bijvoorbeeld eerder afgegeven voorlopige winningsvergunningen.

Door een deelname van Staatsbosbeheer en de Directie Natuur, Milieu en Faunabeheer in het project CIGO-EA heeft met name het onderzoek ten behoeve van het ontwikkelen van het monitorsysteem een flinke impuls gekregen. Bij Staatsbosbeheer bestaat de behoefte aan een monitorsysteem voor het bewaken van de kwaliteit van flora en vegetatie in natuureservaten. Doel van de uit te voeren monitoring is om veranderingen die optreden al in een vroeg stadium te detecteren. Op basis van de indicaties kunnen beheersmaatregelen worden genomen om de kwaliteit van het terrein te handhaven, of men kan een indruk verkrijgen van het soort onderzoek dat moet worden verricht om de oorzaak van de veranderingen te achterhalen. Het monitorsysteem zelf wordt door Staatsbosbeheer uitgewerkt. Het dient vanwege praktische overwegingen gebaseerd te zijn op een beperkt aantal te volgen plantesoorten, die een duidelijk interpreteerbare indicatie geven ten aanzien van de belangrijkste milieufactoren. Dergelijke soorten worden indicatorsoorten genoemd. Het onderzoek van KIWA richt zich op het aangeven van de indicatiewaarde van deze soorten.

Voor grondwaterafhankelijke vegetaties in de beekdalen van het pleistoceen is door KIWA al een systeem van indicatorsoorten opgezet (Jalink en Jansen, 1989), voor de moerasvegetaties in de voormalige verveningsgebieden in laag Nederland is het in ontwikkeling (Jalink, 1991) en naar verwachting zullen in de komende jaren ook andere terreintypen onder de loupe genomen worden. Te noemen zijn onder andere natte duinvalleien en droge duinen, vochtige heiden en de uiterwaarden in het rivierengebied. Het systeem voor de beekdalen wordt al door Staatsbosbeheer in haar terreinen toegepast. Waarschijnlijk zullen ook andere terreinbeherende instanties, waaronder een aantal waterleidingmaatschappijen hiermee gaan werken.

In dit artikel wordt eerst ingegaan op de theoretische achtergrond van het gebruik van indicatorsoorten. Vervolgens zal de bij het onderzoek gebruikte methode worden uitgelegd en geïllustreerd aan de hand van enkele voorbeelden. Dan wordt beschreven op welke wijze de indicatiewaarden tot stand komen en welke randvoorwaarden er aan het gebruik van deze indicaties gesteld moeten worden. Tenslotte wordt aangegeven op welke wijze deze indicatiewaarden kunnen worden gebruikt ten behoeve van terreinbeheer en winplaatsonderzoek.

## **2. THEORETISCHE ACHTERGRONDEN**

### **2.1 Standplaatsfactoren en de sturing daarvan**

Onder standplaatsfactoren worden verstaan de voor de plantengroei direct werkzame ("operationele") factoren, zoals nutriëntenbeschikbaarheid, vochtbeschikbaarheid, zuurstofspanning en zuurgraad in de wortelzone. Deze standplaatsfactoren worden beïnvloed door ter plekke sturende ("conditionele") factoren. Daarbij moet bijvoorbeeld worden gedacht aan de bemestende invloed van overstromingen, de invloed op de calciumhuishouding van toestromend kalkhoudend grondwater of aan een sterkere aeratie van de bodem bij grotere fluctuaties in de grondwaterstand. Deze factoren worden op hun beurt gestuurd door de stoffenstroom, die in een landschap optreedt en door de positie, die de standplaats daarin aanneemt ("positionele factoren"). In een aantal gevallen

zijn processen, die in het verleden zijn opgetreden ook nog van invloed ("sequentiële factoren"). Het moge duidelijk zijn, dat de hier onderscheiden factoren op een verschillende schaal spelen.

## 2.2 Interne en externe invloeden op natuurreservaten

Natuurreservaten zijn over het algemeen geen volledig geïsoleerde gebieden, die door de beheerende instantie helemaal onder controle kunnen worden gehouden. Door hun ligging in het omringende landschap onderhouden ze daarmee allerlei relaties (Van Wirdum, 1979, zie ook Den Hoed, 1985). Daarbij spelen vooral het grond- en oppervlaktewater en de neerslag een grote rol. De oorzaken van een verarming van flora en vegetatie liggen in veel gevallen dan ook niet binnen een reservaat -het beheer is er meestal op gericht dat te voorkomen-, maar juist erbuiten. Er wordt daarom een drietal typen beïnvloedingen onderscheiden. Ten eerste zijn dit de beïnvloedingen, waarvan de oorzaak buiten het reservaat liggen, de externe beïnvloedingen. Daarnaast zijn er de beïnvloedingen, waarvan de oorzaken binnen het reservaat liggen, de interne beïnvloedingen. Hierin zijn onderscheiden het tweede type, de interne beïnvloeding via de abiotiek en het derde type, de invloed van het gevoerde vegetatiebeheer. Hieronder zullen deze begrippen kort worden toegelicht.

Externe invloeden worden meestal veroorzaakt door veranderingen in de hydrologie of hydrochemie van grondwaterstromingsstelsels of door depositie van stoffen vanuit de lucht. Veranderingen in de hydrologie kunnen onder andere worden veroorzaakt door grondwaterwinningen en ontwateringswerken. Bij een veranderend stromingspatroon van het grondwater kan de verspreiding van hydrochemische watertypen ook beïnvloed worden. Daarnaast is de zware bemestingsdruk en het gebruik van bestrijdingsmiddelen door de landbouw van grote invloed op de kwaliteit van grond- en oppervlaktewater. De huidige slechte kwaliteit van het neerslagwater heeft vooral in van nature geïsoleerde en voedselarme terreinen en in licht ontwaterde, van nature basenrijke gebieden een verzurende en bemestende werking.

Overigens kan de abiotiek ook door interne maatregelen worden beïnvloed. Wat betreft hydrologie en hydrochemie moet bijvoorbeeld worden gedacht aan ontwateringsmaatregelen binnen een reservaat ten behoeve van het gevoerde maaibeheer of aan het plaatsen van stuwen om een voldoende hoge waterstand te behouden. Dergelijke ingrepen kunnen ook de bodemprocessen in het terrein beïnvloeden. Verder kan de inrichting van een terrein locale verschillen in depositie veroorzaken. In bosranden treedt een extra invang van droge depositie op en ze veroorzaken turbulenties, die de verdeling van depositie over een reservaat kunnen beïnvloeden. Bosranden hebben ook een directe invloed op de omliggende terreindelen door bladval, het inwaaien van pollen en zaden en door beschaduwning.

Met vegetatiebeheer wordt bedoeld de wijze van al dan niet oogsten van het plantendek die nodig is om een gewenst vegetatietype te handhaven of ontwikkelen. De meest gebruikelijke beheersvormen zijn niets doen, maaien en afvoeren, beweiden, branden of plaggen. Plantesoorten die een bepaalde beheersvorm niet verdragen, zullen uit de vegetatie verdwijnen. Het succes van beheers-

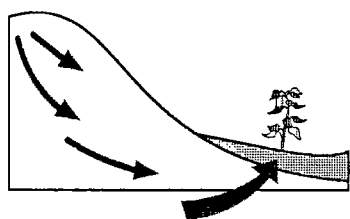
methoden is sterk afhankelijk van het tijdstip waarop en de frequentie waarmee zij worden uitgevoerd. Deze factoren zijn o.a. van invloed op de mogelijkheid tot zaad zetten van planten. Daarnaast is het gebruikte materieel of bij begrazing de gebruikte diersoort van invloed. Te zwaar materieel leidt tot bodemverdichting en op veengronden tot het kapotrijden van de zode. Begrazing leidt op veengronden vaak tot het kapottrappen van de zode. Op drogere gronden kan de veedichtheid nog van invloed zijn. Het onderscheid tussen deze indirecte invloeden van het vegetatiebeheer en van interne hydrologische maatregelen genomen ten behoeve van dat beheer is niet altijd heel scherp te maken. Dit komt doordat deze elkaar beïnvloeden. Zo is bijvoorbeeld de draagkracht van veengronden sterk afhankelijk van de grondwaterstand.

### 2.3 Werken per landschapstype

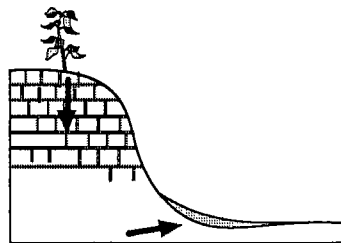
Londo (1988) heeft de in Nederland voorkomende vaatplanten ingedeeld naar de mate waarin ze afhankelijk zijn van hoge (grond-) waterstanden. In deze "freatofytenlijst"<sup>1</sup> komt de aanduiding "kalkafreatofyten" voor. Dit zijn soorten die in Nederland in de regel gebonden zijn aan hoge grondwaterstanden, maar in kalkrijke gebieden ook onder veel drogere omstandigheden voorkomen. Figuur 1 illustreert dit fenomeen voor de Zeegroene Zegge (*Carex flacca*). Deze soort is in de beekdalen van het Drents Plateau gebonden aan toestroming van kalkrijk grondwater, aangezien dit van nature de enige plekken in het landschap zijn die voldoende kalkrijk zijn. In Mergelland komt deze soort juist hoog in het landschap voor in de droge kalk- en lössgraslanden. De eveneens kalkrijke beekdalen zijn hier veelal te voedselrijk voor deze soort. In Drente wordt deze soort daarom als kwelindicator beschouwd, terwijl ze in Zuid-Limburg voornamelijk een bepaalde voedselrijkdom aanduidt en goeddeels beperkt is tot de infiltratiegebieden.

Bv. indicatie zeegroene zegge

Beekdalen dekzand



Kalkhellingen Zuid-Limburg



**Figuur 1:** Voorbeeld van de samenhang tussen de indicatie van een soort en het landschap waarin die voorkomt: Zeegroene Zegge (*Carex flacca*) is in het kalkarme dekzandgebied van het Drents Plateau gebonden aan toestroming van kalkrijk water (kwelindicator), terwijl deze soort op de krijtplateaus in Zuid-Limburg op kurkdrege plaatsen voorkomt.

<sup>1</sup> Freatofyten zijn plantesoorten die in een bepaald gebied in hun voorkomen beperkt zijn tot de invloedssfeer van het freatisch water (Londo, 1988).

Dit voorbeeld illustreert duidelijk, dat de indicatie die een soort geeft ten aanzien van zijn standplaats veel meer informatie bevat, wanneer men ook het landschapstype waarin die standplaats ligt erbij betreft. En andersom kan men, als men zich beperkt tot een bepaald landschapstype, de indicatie van een soort veel duidelijker definiëren, dan wanneer men een globale beschrijving voor heel Nederland moet geven. Binnen geomorfologisch homogene gebieden zijn de operationele factoren te koppelen aan de sturende conditionele en positionele factoren, zoals grondwaterstandsverloop, grondwaterkwaliteit, kwel of infiltratie en de basenverzadiging van het adsorptiecomplex. De plantesoort geeft dan dus ook een indicatie over deze sturende factoren. Daarom is gekozen voor een benadering, waarbij de indicatiewaarden van soorten per landschapstype wordt aangegeven. Op deze wijze geven de indicaties tevens een handvat voor het opsporen van de oorzaken van veranderingen.

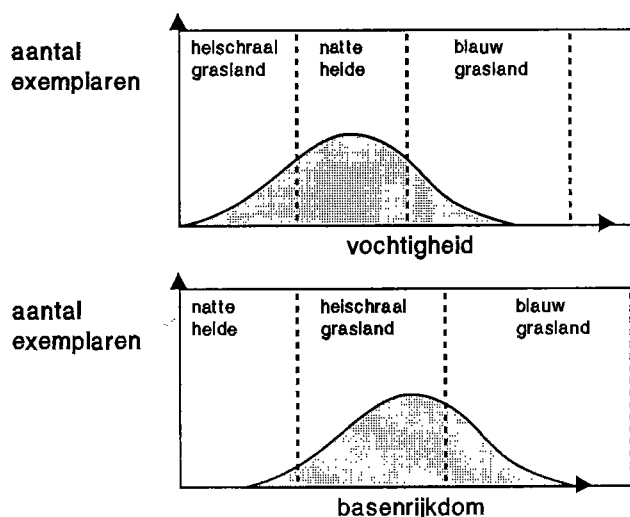
In de vegetatiekunde wordt Nederland opgedeeld in een aantal regio's die qua floristische en vegetatiekundige samenstelling een zekere mate van constantie vertonen en onderling verschillen door het ontbreken van soorten of vegetatietypen. Deze regio's worden plantengeografische districten genoemd (Van Soest, 1929; Weeda, 1990). Qua schaal moet men daarbij denken aan gebieden, zoals het Drents Plateau, het rivierengebied en de dekzandgebieden van Noord-Brabant. De verschillen tussen deze districten berusten in belangrijke mate op geogenetische en klimatologische verschillen.

Bij het indicatorenonderzoek is de indeling in plantengeografische districten ondergeschikt gemaakt aan die in landschapstypen. Het blijkt namelijk dat bij het voorkomen van een landschapstype in verschillende districten, de overeenkomsten veelal groter zijn dan de verschillen (zie Westhoff e.a., 1971; Jalink en Jansen, 1989). Verder zijn de meeste landschapstypen beperkt tot een of enkele plantengeografische districten, zoals beekdalen tot het Drents, Gelders, Kempens, Subcentreurop en Zuid-Limburgs district, duinvalleien tot het Duin- en Waddendistrict en de grote laagveenmoerassen, die beperkt zijn tot het Hafdistrict. In dit onderzoek worden per landschapstype de districten wel onderling vergeleken.

## 2.4 Werken per vegetatietype

In figuur 2 zijn twee responsiecurven weergegeven van een plantesoort ten aanzien van de factoren vocht en basenrijkdom. In deze grafieken is een maat voor het voorkomen van de soort uitgezet tegen de genoemde milieuvariabelen. Daar waar de soort het meeste voorkomt, is ze blijkbaar het meest concurrentiekrachtig en verder is er een zekere mate van tolerantie. Naarmate een soort minder tolerant is ten aanzien van een milieufactor, is zijn indicatie ten aanzien van die factor duidelijker.





**Figuur 2:** Fictieve optimumcurven van Klokjesgentiaan (*Gentiana pneumonanthe*) ten aanzien van vocht en basenrijkdom en enkele plantengemeenschappen, die ook onder die omstandigheden voorkomen

Een plantengemeenschap of associatie is een ruimtelijke groepering van plantesoorten met een karakteristieke, in tijd en ruimte betrekkelijk stabiele soortensamenstelling. Het gaat hier om een abstract begrip. De concrete voorbeelden van zulke plantengemeenschappen kunnen weliswaar enige variatie vertonen, maar de onderlinge overeenkomsten zijn veel groter, dan die met andere plantengemeenschappen. In de vegetatiekunde zijn de plantengemeenschappen ingedeeld volgens een hiërarchisch systeem, waarbij de laagste hiërarchische niveaus het nauwst omschreven zijn (Westhoff en Den Held, 1969). De milieu-indicatie van een plantengemeenschap is op te vatten als dat deel van het bereik van een milieufactoor, waarbinnen de voor die gemeenschap karakteristieke soorten tezamen voor kunnen komen. Deze indicatie is duidelijker naarmate op een lager hiërarchisch niveau gekeken wordt, aangezien de soortensamenstelling dan scherper gedefinieerd is.

Wordt nu de indicatie van een plantesoort beperkt tot het voorkomen van die soort binnen een bepaald vegetatietype, dan zijn de grenswaarden voor de milieufactoren veel duidelijker aan te geven. Dit wordt allereerst geïllustreerd aan de hand van een voorbeeld en daarna in meer algemene termen gesteld. In figuur 2 zijn twee fictieve responsiecurven weergegeven voor Klokjesgentiaan (*Gentiana pneumonanthe*) ten opzichte van een vochtigheids-as en een basenrijkdom-as. In deze grafieken is ook ruwweg aangegeven welke vegetatietypen bij diverse vochtigheid en basenrijkdom voorkomen. Dit zijn heischrale graslanden (*Nardo-Gentianetum pneumonanthes*), natte heidevegetaties (*Ericetum tetralicis*) en blauwgraslanden (*Cirsio-Molinietum*). Klokjesgentiaan komt in alle drie deze vegetatietypen voor. In de bovenste grafiek is te zien, dat de optimale vochtigheid voor deze soort voorkomt in natte heides, dat ze in de heischrale graslanden vooral op de relatief natte standplaatsen voorkomt en in de blauwgraslanden alleen op de relatief droge. In de onderste grafiek is te zien, dat qua basenrijkdom het optimum van deze soort ongeveer op de overgang tussen heischrale graslanden en blauwgraslanden ligt, maar dat ze binnen de blauwgras-

landen vooral in op relatief basenarme standplaatsen voorkomt. Binnen de natte heiden komt Klokjesgentiaan alleen op de meest basenrijke plekken voor. Hoewel deze soort dus haar optimum qua vochtigheid binnen de natte heides zou hebben, komt ze daarin weinig voor, doordat de standplaatsen van dat vegetatietype veelal te zuur zijn. Binnen de natte heides is Klokjesgentiaan dus een indicator voor relatief basenrijke omstandigheden. Binnen het blauwgrasland indiceert deze soort relatief droge en basenarme omstandigheden. Binnen de heischrale graslanden geeft ze ten aanzien van deze factoren geen duidelijke indicatie.

In meer algemene termen kan dit voorbeeld als volgt worden verwoord. Voor plantesoorten, waarvan de tolerantiegrenzen ook buiten het vegetatietype liggen, waarin ze worden aangetroffen, is de indicatie binnen dat vegetatietype veel gedetailleerder, dan die van het voorkomen van de soort op zich. De indicatie van de plantesoort omvat dan immers dat deel van zijn tolerantiebereik, waarbij het vegetatietype ook voorkomt. Wanneer één van de tolerantiegrenzen van een plantesoort tussen de tolerantiegrenzen van een vegetatietype ligt, dan indiceert het voorkomen van deze soort binnen die gemeenschap een veel beperkter deel van het bereik van de omgevingsfactoren, dan de gemeenschap op zich. Dit betekent, dat met dergelijke indicatorsoorten ook de verschuivingen in de soortensamenstelling die binnen een plantengemeenschap optreden kunnen worden geïnterpreteerd.

## 2.5 Vraagstelling

De belangrijkste vraagstellingen in het onderzoek zijn de volgende:

- Welke indicatie geeft het voorkomen van een plantengemeenschap (associatie of subassociatie<sup>2</sup>)? Hier wordt een algemene karakteristiek gegeven van de standplaatsfactoren waarbij plantengemeenschappen voorkomen, de positie die ze van oudsher in het landschap innamen en het gebruikelijke beheer. Ook de vervanging door andere plantengemeenschappen bij veranderend beheer komt aan de orde.
- Welke indicatie geeft het voorkomen, het verschijnen of uitbreiden, verdwijnen of achteruitgaan van bepaalde plantesoorten binnen deze plantengemeenschap?
- Zijn deze indicaties alleen lokaal geldig of binnen een heel plantengeografisch district ?
- In hoeverre verschillen de indicaties tussen de diverse plantengeografische districten?

---

<sup>2</sup> De basiseenheid in de vegetatiekunde is de associatie. Analoog aan de onderverdeling in de soortensystematiek in ondersoorten en rassen, kunnen associaties verder worden onderverdeeld in subassociaties en varianten. Voor een meer gedetailleerde beschrijving van deze terminologie wordt verwezen naar Westhoff en Den Held (1969) en naar Jansen (deze bundel).

Zoals eerder opgemerkt gaat het hierbij niet alleen om indicaties ten aanzien van operationele factoren zoals pH, nitraat- en fosfaat-beschikbaarheid, vochtvoorziening en de directe invloed van het beheer, maar ook om de conditionele en positionele factoren, die deze standplaatseigenschappen in het betreffende landschapstype sturen. Dit zijn o.a. het grondwaterregime en daarin optredende veranderingen, grondwaterkwaliteit en fluctuaties daarin en processen in de bodem, deze laatste gedeeltelijk als gevolg van het gevoerde beheer.

In veel gevallen zal een verandering in soortensamenstelling het gevolg zijn van een combinatie van veranderingen in de abiotiek. Figuur 3 geeft een schematisch overzicht van de complexiteit van een aantal van dergelijke kettingreacties. Zo kan een daling van de stijghoogte van basenrijk regionaal grondwater in veengrond leiden tot vervanging door zijdelings toestromend grondwater van meer locale herkomst of door infiltrerend regenwater. De gevolgen kunnen zijn dat er een omslag plaatsvindt van anaerobe naar aerobe omstandigheden, waardoor ook soorten, die niet zijn aangepast aan anaerobe bodems zich kunnen vestigen. Een betere aeratie van de bodem zal meestal ook leiden tot een toename van de mineralisatie van organisch materiaal, waardoor extra voedingsstoffen beschikbaar komen en soorten van voedselrijke omstandigheden zich kunnen gaan uitbreiden ten koste van aan voedselarmere omstandigheden gebonden soorten. En de berging van relatief zuur water in de bovenste bodemlagen zal tot verzuring leiden, waardoor aan kalkrijkere omstandigheden gebonden soorten uiteindelijk verdwijnen ten gunste van aan zuurdere plaatsen aangepaste soorten. Enerzijds betekent dit, dat de indicatie die aan de hand van de verandering in soortensamenstelling wordt bepaald, meestal bestaat uit een combinatie van indicaties over veranderingen in operationele factoren. Anderzijds maakt deze combinatie het mogelijk om door deductie de achterliggende oorzaak, namelijk een verandering van de conditionele en positionele factoren grondwaterstroming en -kwaliteit, te achterhalen. Voor dit laatste is het van belang, dat de indicaties zo nauw mogelijk voor het betreffende systeem beschreven zijn.

### **3. METHODE**

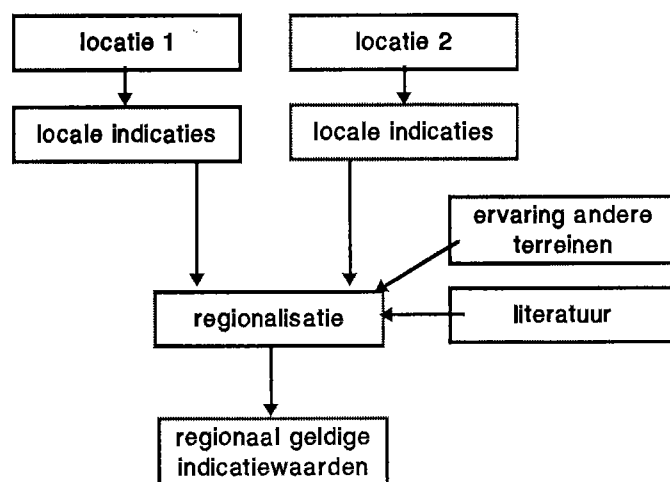
#### **3.1 Globale opzet van het onderzoek**

De grote lijn van het onderzoek is weergegeven in figuur 4. Er wordt uitgegaan van een aantal concrete locaties, die naar de mening van de onderzoekers redelijk representatief zijn voor het landschapstype. Deze locaties worden zoveel mogelijk gespreid over de betreffende plantengeografische districten. Van deze locaties wordt de vegetatiekundige variatie beschreven en geïnterpreteerd aan de hand van geohydrologische, geohydrochemische, bodemkundige en beheersmatige gegevens. Deze interpretatie leidt tot een beeld van de indicatie van de voorkomende plantengemeenschappen ten aanzien van deze standplaatsfactoren. De interpretatie van de variatie in soortensamenstelling van de voorkomende vegetatietypen in combinatie met de genoemde factoren geeft inzicht in de indicatie van de soorten binnen deze typen.

VERANDERING EXTERN	VERANDERING INTERN GRONDWATERSTAND/ BODEMFYSISCH	BODEM CHEMISCH	VERSCHUIVING IN DE INDICATIE VAN DE SOORTENSAMENSTELLING
stijghoogte regionaal systeem lager	vervangng van kwel door infiltratie of lokaal water	pO <sub>2</sub> > mineralisatie; verzuring	moerasplanten voedselarm basenrijk ---> landplanten ---> voedselrijk ---> basenarm
afvangen lokaal systeem	grotere invloed regionaal water of: infiltratie van regenwater	mineralisatie; basenverzadiging >	voedselarm basenarm ---> voedselrijk ---> basenrijk
locaal systeem vervuild	zacht CaNO <sub>3</sub> -water of veel NH <sub>4</sub>	pO <sub>2</sub> > mineralisatie	moerasplanten voedselarm ---> landplanten ---> voedselrijk
depositie vervuild "zure regen"	toename zuur-, N- en P-belasting	eutrofiëring; verzuring	voedselarm basenrijk ---> voedselrijk ---> basenarm
---	opstuwten lokaal water	pO <sub>2</sub> < vernatting; verzuring	landplanten basenrijk ---> moerasplanten ---> basenarm
---	te vroeg maaien op veengrond	mineralisatie	voedselarm ---> storingssoorten ---> voedselrijk
---	te weinig maaien	verzuring mineralisatie	basenrijk voedselarm ---> basenarm ---> voedselrijk

**Figuur 3:** Schematisch overzicht van enkele kettingsreacties, die het gevolg kunnen zijn van veranderingen binnen of buiten natuurreservaten. In de eerste kolom staan de externe oorzaken. In de tweede kolom staan de veranderingen, die daar intern het gevolg van zijn, maar ook de mogelijke interne oorzaken. Kolom 3 geeft aan wat er verandert aan het grondwaterstandsverloop en aan fysieke bodemprocessen. Kolom 4 geeft aan wat er verandert in direct sturende bodemchemische parameters. In kolom 5 is aangegeven in welke richting de verandering in soorten-samenstelling een indicatie zal geven.

**Figuur 3:** Schematisch overzicht van een aantal vaak voorkomende oorzaken en gevolgelaties bij de beïnvloeding van natuurgebieden



**Figuur 4:** Schematische weergave van de grote lijn in het onderzoek

Het concrete resultaat van deze fase in het onderzoek is een per locatie opgestelde lijst met de indicaties van voorkomende vegetatietypen en van een aantal soorten daarin. De aldus bepaalde indicatiewaarden hebben een strict locale geldigheid.

Per systeemtype wordt een aantal van dergelijke locale onderzoeken uitgevoerd. In de laatste fase, de regionalisering, worden dan de resultaten van de verschillende locaties vergeleken met elkaar en met inzichten omtrent andere natuurgebieden op basis van eigen ervaring en literatuurstudie. Dit gebeurt in eerste instantie per plantengeografisch district. Maar ook de indicaties uit de diverse districten worden met elkaar vergeleken. De locatie-onderzoeken worden dus gebruikt als steekproeven voor het systeemtype. De representativiteit van de locaties is in het onderzoek erg belangrijk. Enerzijds is het van belang typische voorbeelden van een bepaald systeem te onderzoeken, zodat de indicaties ten aanzien van binnen het landschapstype sturende factoren representatief geacht mogen worden. Anderzijds moet de variatie die binnen een systeemtype optreedt ten gevolge van geografische verschillen en van verschillen in het gevoerde beheer zoveel mogelijk in het onderzoek worden betrokken. Om die reden worden steeds drie tot vijf concrete locaties onderzocht, die zoveel mogelijk over het land verspreid liggen en die zelf een zo groot mogelijke vegetatiekundige variatie vertonen.

Het concrete resultaat van de regionaliserings-fase in het onderzoek is een per district opgestelde beschouwing van de vegetatiekundige variatie in het betreffende systeemtype en van de omstandigheden, waaronder de typen voorkomen. Per vegetatietype is een aantal soorten met duidelijke indicatie geselecteerd, waarvoor regionale indicatiewaarden worden aangegeven.

### 3.2 Methoden locatie-onderzoek

Bij het locatie-onderzoek wordt in eerste instantie de aanwezige vegetatiekundige variatie beschreven aan de hand van een vegetatie-typologie. Hierbij worden in een tabel de soorten aangegeven, die kenmerkend zijn voor de vegetatietypen, die in het gebied voorkomen. Vervolgens worden de beschikbare gegevens verwerkt. Daarbij zijn, afhankelijk van wat type gegevens er zijn, in grote lijnen drie benaderingen te onderscheiden. Dit zijn (a) een interpretatie van in de tijd opgetreden veranderingen, (b) een vergelijking van ruimtelijk optredende patronen en (c) een numerieke en statistische verwerking van vegetatiekundige met hydrologische, hydro- en bodemchemische parameters. In de praktijk wordt meestal een combinatie van deze benaderingen toegepast. De drie werkwijzen worden hierna kort besproken.

#### a: Interpretatie van veranderingen in de tijd

Indien van diverse jaren gedetailleerde gegevens over de vegetatie bekend zijn, dan worden deze met elkaar vergeleken. Op deze wijze kunnen concreet opgetreden veranderingen in de vegetatie, successie<sup>3</sup>- en degradatie<sup>4</sup>-processen, worden beschreven. Door onderzoek naar de veranderingen in de abiotiek en het beheer wordt getracht de oorzaken van de vegetatiekundige veranderingen te interpreteren. Deze methode leidt tot het opstellen van schema's met betrekking tot successie en degradatie, het verdwijnen en verschijnen van soorten. Een voorbeeld van een dergelijk schema is figuur 5. Dit schema schetst de veranderingen die tussen 1973 en 1983 zijn opgetreden in de vegetatie in de Wobberibben, een trilveencomplex in het reservaat De Weerribben in Noordwest-Overijssel. De vegetatie is hier veranderd, waarbij een type met veel aan basenrijke omstandigheden gebonden soorten, de gemeenschap van Schorpioenmos en Ronde Zegge (*Scorpidio-Caricetum diandrae*), is vervangen door vegetaties met soorten van zure standplaatsen, de gemeenschap van Veenmos en Draadzegge (*Sphagno-Caricetum lasiocarpae*) en de Hafhoogveen-associa-tie (*Sphagnetum palustre-papilloso*). In deze hele reeks spelen mossen een zeer grote rol.

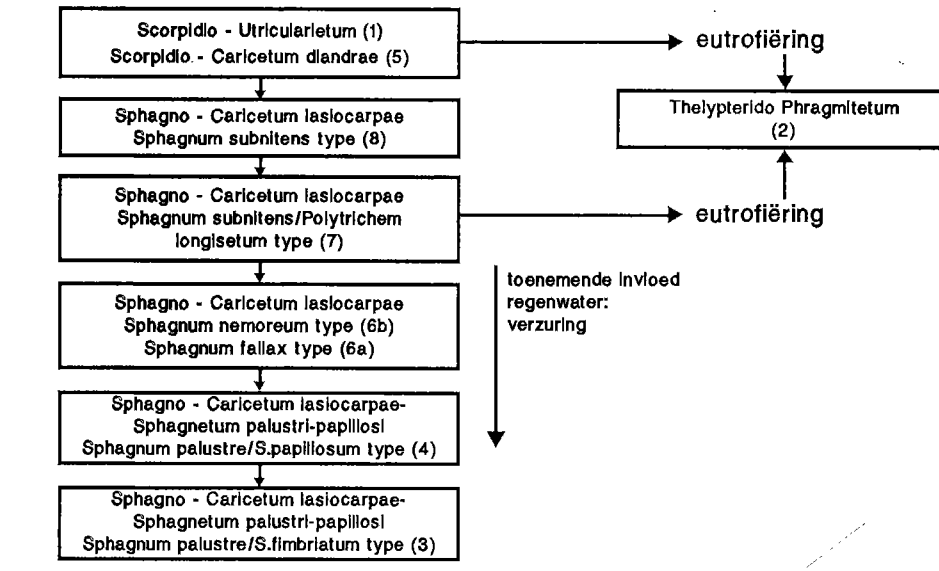
In figuur 6 is voor een zestal soorten aangegeven hoe in de loop van 13 jaar het aantal proefvlakken, waarin zij voorkwamen veranderde. Deze reeks is van een andere locatie, dan die in figuur 5, maar komt overeen met de onderste helft van die figuur. Er is een duidelijk verschil in de mate van gevoeligheid van de verschillende soorten en in de volgorde waarin soorten verdwijnen of verschijnen. Sommige soorten, zoals in dit voorbeeld Padderus (*Juncus subnodulosus*), kunnen het door middel van een uitgebreid wortelstelsel nog lang volhouden, terwijl ze onder de heersende omstandigheden zich niet meer zouden kunnen vestigen. Dit wordt najlén genoemd. Daarnaast

---

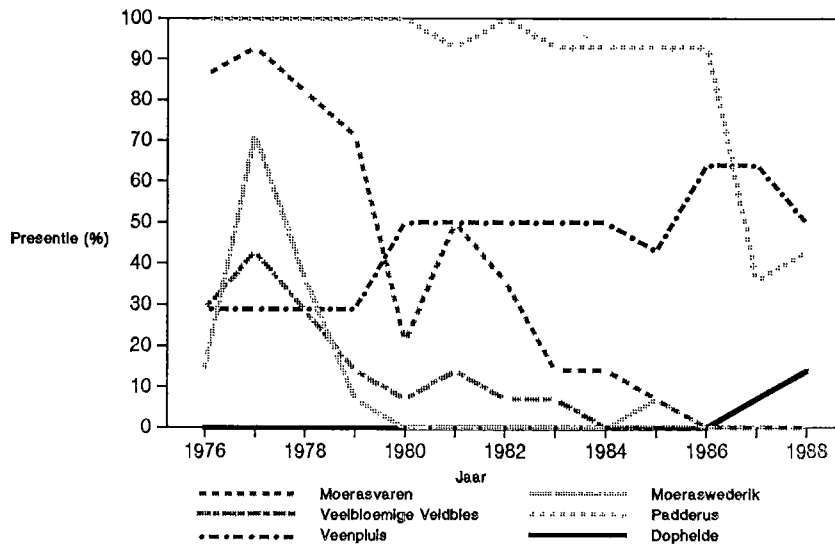
<sup>3</sup> Successie is de verandering in soortensamenstelling van een levensgemeenschap die leidt tot een steeds stabielere situatie, d.w.z. tot een systeem, dat steeds meer zelfregulerend werkt.

<sup>4</sup> Onder degradatie wordt verstaan het verarmen van de vegetatie ten gevolge van successievreemde processen. Bij degradatie verdwijnen meestal de kenmerkende soorten van de lagere syntaxonomische eenheden en ontstaan typen, die niet goed meer zijn in te passen.

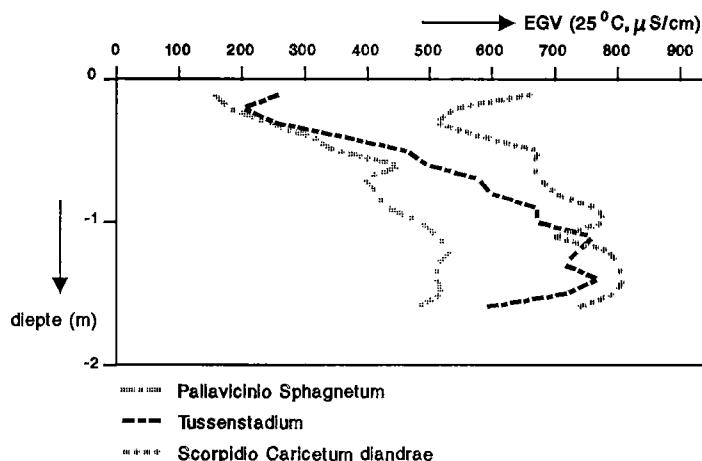
blijkt vaak dat bepaalde soorten niet alleen maar continu vooruit of achteruit gaan, maar bijvoorbeeld een tijdelijke opbloei vertonen voordat ze definitief verdwijnen. Dergelijke facetten moeten bij het opzetten van monitoring-systemen in het oog worden gehouden.



**Figuur 5:** Successie- en degradatie-schema van de vegetatie van "De Wobberibben" in het reservaat "De Weerribben" (Jalink, 1990; naar Calis en van Wetten, 1983 en Van Wirdum, 1991)



**Figuur 6:** Het verloop tussen 1976 en 1988 van de presentie van enkele soorten in een 14-tal proefvlakken in de Weerribben (Naar Jalink, 1991)



**Figuur 7:** De verandering van de hydrochemie in een kragge tijdens de successie van *Scirpidio-Caricetum diandrae* naar *Sphagno-Caricetum lasiocarpae* (Jalink, 1991; naar gegevens Touber, 1973 en Van Wirdum, 1991).

De hydrologische achtergrond van de in de Wobberibben opgetreden veranderingen wordt duidelijk aan de hand van profielen, waarin het elektrisch geleidingsvermogen van het grondwater (EGV) in verschillende successiestadia van een dergelijke reeks is uitgezet tegen de diepte (zie figuur 7). Dit EGV is een maat voor de in het water opgeloste hoeveelheid ionen. In het systeem uit dit voorbeeld is het daarmee ook een maat voor voeding door mineraalrijk oppervlaktewater, dat onder de kragge doorstroomt, of door zuur, mineraalarm neerslagwater (Van Wirdum 1991). In de gemeenschap van Schorpioenmos en Ronde Zegge (*Scirpidio-Caricetum diandrae*) worden over de hele diepte hoge EGV-waarden gemeten. Hier staat de bodem nog tot bovenin het profiel onder invloed van het onder de kragge stromende mineraalrijke oppervlaktewater. Bij het tussenstadium in de overgang naar de gemeenschap van Veenmos en Draadzegge (*Sphagno-Caricetum lasiocarpae*) is bovenin het profiel een laag water met lage EGV aanwezig. Hier begint zich een regenwaterlens van enkele decimeters dikte te vormen, die bij het profiel uit de gemeenschap van Veenmos en Draadzegge al tot een diepte van meer dan een meter invloed heeft. Bij deze benadering wordt dus ruimtelijke informatie gekoppeld aan in de tijd opgetreden processen.

Een dergelijke vergelijking in de tijd kan alleen worden toegepast, als er van diverse jaren goede en gedetailleerde vegetatiekundige gegevens beschikbaar zijn. Dit kunnen gebiedsdekkende vegetatiekaarten zijn met een duidelijk beschreven typologie of proefvlakken die in de loop van een aantal jaren een aantal keer zijn opgenomen. Bij dit laatste is het wel van belang, dat het een voldoende lange tijdspanne betreft, zodat op korte termijn optredende effecten van bijvoorbeeld vroege of late voorjaren kunnen worden uitgebannen. Voor een goede onderbouwing van de interpretatie van vegetatiekundige veranderingen zijn ook is het wenselijk, dat ook abiotische gegevens van verschillende momenten beschikbaar zijn.



## **b: Interpretatie van ruimtelijke patronen**

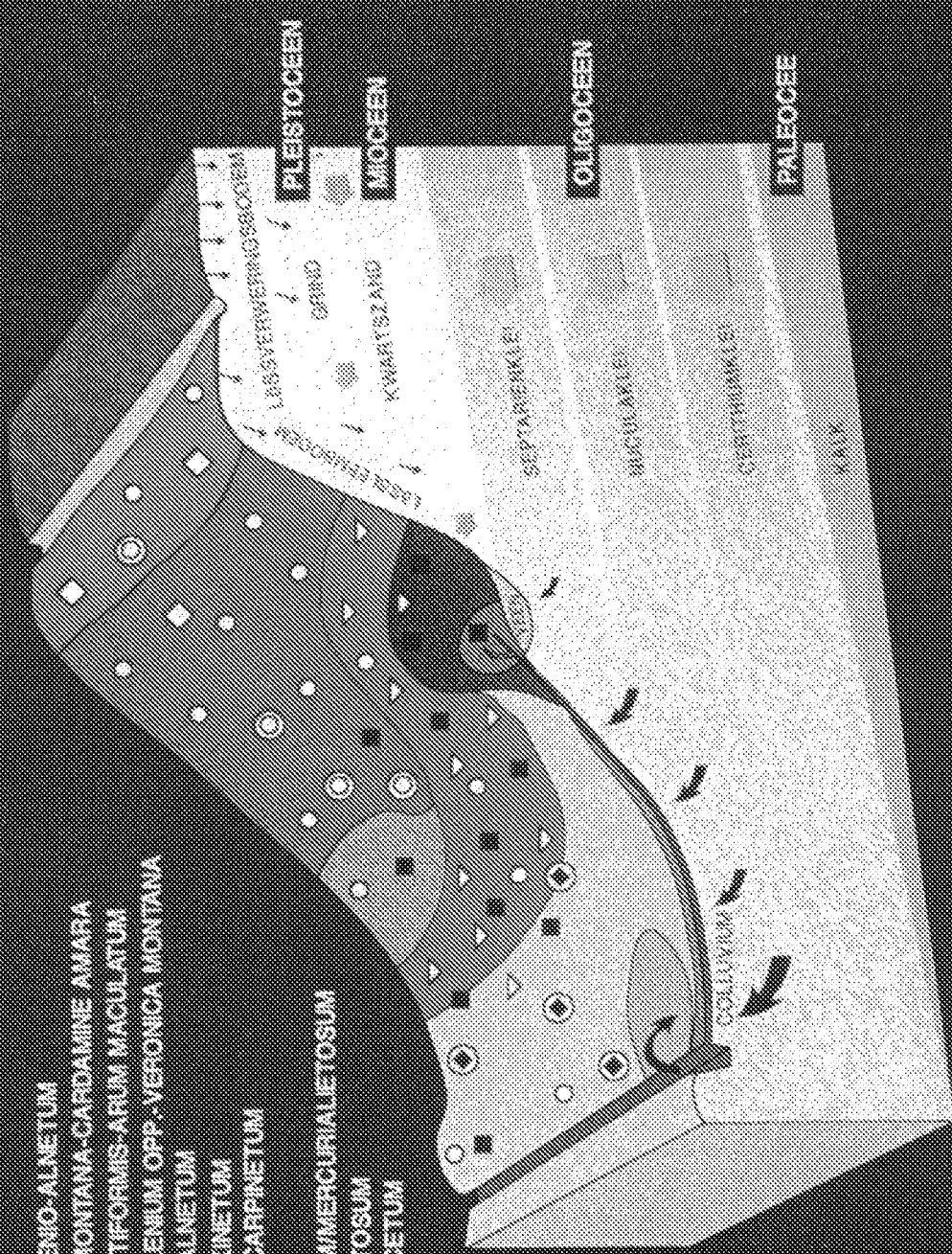
Is de variatie in de tijd niet vastgelegd, dan is het interpreteren van de ruimtelijke variatie aan plantengemeenschappen en van de soorten daarin een veel toegepaste methode bij het onderzoek naar successie en degradatie. Bij deze benadering wordt de verspreiding van soorten en vegetatietypen geïnterpreteerd in samenhang met de verspreiding van bodemtypen, grondwatertypen, beheersmethoden en dergelijke. Daarbij wordt de hele geomorfologische, geohydrologische en geohydrochemische opbouw van een gebied betrokken. De relatie tussen vegetatietypen of plantesoorten en het landschap wordt bij deze methode veelal weergegeven in twee- of driedimensionele landschapsdoorsneden.

Figuur 8 is een voorbeeld van een dergelijke doorsnede. Deze geeft de gradiënt weer zoals die in grote lijnen te vinden is in het Bunderbos, een hellingbos aan de westrand van het Centraal Plateau ten noorden van Maastricht. Aan de voorzijde is de geologische opbouw van de plateaurand weergegeven, verder zijn enkele bodemtypen en grondwaterstromingen aangegeven. Aan de bovenzijde zijn de vegetatietypen en de verspreiding van enkele plantesoorten aangegeven. Deze figuur schetst het verkregen inzicht in de relatie tussen de abiotiek en de verspreiding van vegetatietypen en plantesoorten. Naast deze geïntegreerde weergave wordt ook gebruik gemaakt van de vergelijking van meetgegevens uit verschillende vegetatietypen zoals pH-waarden, grondwaterstandsduurlijnen en EGV-profielen.

De verspreiding van de vegetatietypen in figuur 8 is duidelijk gekoppeld aan de ligging langs de gradiënt en aan de aanwezigheid van bronnen en beken. Bovenop het plateau, op de vlakke delen, zijn de gronden in landbouwkundig gebruik. Langs de steile helling zijn diverse bostypen te vinden. Bovenaan is dit het Beuken-Eikenbos (*Fago-Quercetum*), dat hier dus op de meest droge en uitgeloopte bodems staat. Daaronder ligt een brede zone met het Eiken-Haagbeukenbos (*Stellario-Carpinetum*), waarin in dit voorbeeld drie subassociaties te onderscheiden zijn. De typische subassociatie (*typicum*) neemt de relatief droge en zure posities in. De subassociatie van Vingerhelmbloem (*corydaletosum*) komt voor op vochtiger, maar ook nog relatief zure bodems. De subassociatie van Daslook (*allietosum*) komt op nattere en kalkrijkere bodems voor, en staat onder invloed van: ondiep stromend lokaal grondwater. Onderaan de helling is hier op de vrij natte, kalk- en voedselrijke colluviale bodems het Vogelkers-Essenbos (*Pruno-Fraxinetum*) te vinden. Onder invloed van overstromingen vanuit de onderaan de helling stromende beek komt hier ook het Bosmuur-Elzenbos (*Stellario-Alnetum*) voor. Op plaatsen waar het kalkrijke grondwater uittreedt, in de bronnen en langs het naar beneden stromende beekje is het Elzenbronbos (*Chrysosplenio-Alnetum*) te vinden. Ook binnen dit bostype kunnen diverse subassociaties worden onderscheiden, die samenhangen met waterstandsfluctuaties en met de ligging op een bronkop of langs het beekje.

Sommige soorten, zoals Bosanemoon (*Anemone nemorosa*) komen langs de hele gradiënt wel voor, andere, zoals Bosandoorn (*Stachys sylvatica*) alleen aan een van de uiteinden. Vlier (*Sambucus nigra*) komt veel aan de bovenzijde voor en reageert daar sterk op aanvoer van nitraat vanuit het landbouwgebied.

- ◆ CHRYSOPLENIO-ALNETUM
- VERONICA MONTANA-CARDAMINE AMARA
- ◐ CAREX ACUTIFORMIS-ARUM MACULATUM
- ◑ CHRYSOPLENIUM OPP.-VERONICA MONTANA
- ◒ STELLARIO-ALNETUM
- ◓ PRUNO-FRAXINETUM
- ◔ STELLARIO-CARPINETUM
- ◕ TYPICUM
- ◖ ALLETOSUMMERCURIALETOSUM
- ◗ CORYDALETOSUM
- ◘ FAGO-QUERCETUM
- ◙ AGRARISCH
- ◚ BEEK



◆ VLER    ● EEBES    ◐ KLAVERZURING    ◑ DASLOOK    ● BOSANEMOON    ◒ BOSANDOORN

Figuur 8. Driedimensionele weergave van geologie en vegetatie in het Bundarivoo-complex (Van Jaarsveld en Jansen, 1989)

Verder zijn er soorten, die binnen een bepaald vegetatietype specifiek boven- of onderaan voorkomen, zoals Daslook (*Allium ursinum*) en Eenbes (*Paris quadrifolia*) in het Eiken-Haagbeukenbos, waar ze relatief vochtige en kalkrijke omstandigheden indiceren.

De verschillende standplaatseisen van soorten en vegetatietypen, zoals die bij een ruimtelijke vergelijking gevonden worden, zijn eigenlijk niet direct te vertalen in termen van successie en degradatie. Immers, de verschillen tussen standplaatsen zijn in veel gevallen bepaald door de positie in het landschap. Daardoor geeft deze methode wel veel inzicht in de indicaties ten aanzien van de sturende conditionele en positionele factoren.

Voor het toepassen van een ruimtelijke vergelijking zijn gegevens over de verspreiding van vegetatietypen onontbeerlijk. Deze kunnen bestaan uit een goede vegetatiekaart met een gedetailleerde legenda of uit een set beschrijvingen van proefvlakken, "vegetatieopnamen", waarvan de locatie nauwkeurig is aangegeven. Verder dienen gegevens over geomorfologie, bodem, grondwaterstanden en de verspreiding van watertypen voorhanden te zijn. Als deze ontbreken, dan vindt gebiedsinterpretatie plaats op basis van hypothesen over de relaties in een gebied. Deze hypothesen worden opgesteld aan de hand van al bestaande kennis over de standplaatseisen van de vegetatietypen en van een grof model van het landschap. Ze worden "getoetst" aan de soortensamenstelling. Er vindt dan als het ware een iteratief proces plaats van inductie en deductie waarbij de locale indicatiewaarden hypothetisch zijn en bij de regionalisatie getoetst moeten worden.

### **c: Numerieke verwerking**

Indien van dezelfde plekken zowel vegetatieopnamen als abiotische gegevens beschikbaar zijn, kan numerieke verwerking plaatsvinden. Hierbij wordt gebruik gemaakt van ordinatietechnieken (zie Ter Braak, 1987b). Deze technieken zijn gebaseerd op een iteratief proces, waarbij afwisselend aan opnamen een score wordt toegekend, die het gewogen gemiddelde is van de soortscores en aan soorten een score, die het gewogen gemiddelde is van opnamescores. Deze scores blijken zich zodanig te stabiliseren, dat langs de assen van de ordinatiediagrammen een zo groot mogelijk deel van de in de oorspronkelijke dataset aanwezige variatie wordt "verklaard". Verder zijn de opeenvolgende assen onafhankelijk, zodat de variatie langs een volgende as niet al door een eerdere was beschreven. Dit is in het kort het algemene principe van Correspondentie Analyse CA (zie verder Ter Braak, 1987b). Deze techniek is gecombineerd met multiple regressie technieken tot Canonische Correspondentie Analyse CCA (Ter Braak, 1986, 1987b). Bij CCA wordt aan de assen de restrictie gesteld, dat ze een lineaire combinatie van gemeten omgevingsfactoren moeten zijn. Op deze wijze kan de ecologische achtergrond van de assen veel gemakkelijker worden achterhaald dan bij CA. Deze bewerkingen worden uitgevoerd met het programma CANOCO (Ter Braak, 1987a).

Het resultaat van deze bewerkingsmethode is een zogenaamde biplot, waarin de scores van soorten of opnamen langs twee assen zijn weergegeven en ook die van de gemeten omgevingsfactoren. De figuren 9 en 10 tonen twee biplots uit het onderzoek van het in de Gelderse Vallei gelegen reser-

vaat Groot Zandbrink (Jalink en Jansen, 1989<sup>5</sup>). In figuur 9 zijn de scores van een deel van de opnamen weergegeven. Met omkaderingen is de ligging van alle opnamen uit een bepaald vegetatietype aangegeven. De pijlen wijzen naar de biplotscores van de abiotische variabelen, waarmee de assen geconstrueerd zijn. Daarbij is de lengte van de pijl een maat voor het belang van de factor en de richting van de pijl geeft aan waar positieve afwijkingen ten opzichte van de gemiddelde waarde van de milieufactor (de oorsprong van de biplot) liggen. De stippen geven de -passief bepaalde scores van de overige omgevingsfactoren. In figuur 10 is hetzelfde nog eens weergegeven, maar dan met de scores van de plantesoorten.

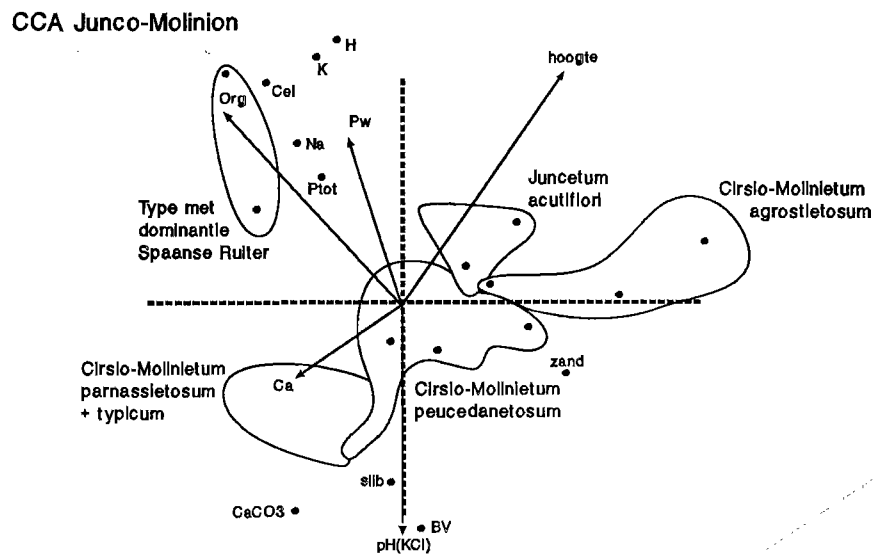
De interpretatie van deze biplots verloopt als volgt. De loodlijnen vanaf een soort- of opnamescore naar de pijl van een omgevingsfactor geven aan wat ongeveer de gemiddelde waarde van die factor is voor die soort of opname. Daarbij neemt het belang van de betreffende milieufactor af, naarmate de score verder van de pijl af ligt. In de meeste gevallen is dan een andere factor van meer belang. Op deze wijze wordt een inzicht verkregen in de relatieve positie van opnamen en soorten ten opzichte van de betreffende milieuparameters. Daarbij moet er mee rekening worden gehouden, dat deze interpretatie in beginsel alleen geldig is binnen de gebruikte set vegetatieopnamen. Het is dus van groot belang ervoor te zorgen, dat de set opnamen de totale vegetatiekundige variatie goed beschrijft. Verder moet worden voorkomen, dat enkele extreme opnamen de assen gaan bepalen, waardoor de verschillen tussen de overige opnamen niet goed tot uiting komen. Hieruit blijkt, dat ook bij deze numerieke benadering de interpretatie door en de kennis van de onderzoeker van groot belang zijn.

In figuur 9 zijn de vegetatietypen duidelijke gescheiden komen te liggen. Het blijkt, dat hoogteligging, pH en calciumgehalte van de bodem de belangrijkste factoren zijn die de verschillen bepalen tussen de Parnassia-rijke (parnassietosum), de verruigde (peucedanetosum) en de Kruipend Struisgras-vorm (agrostietosum) van het blauwgrasland (Cirsio-Molinietum) en het veldrusschraalland (Juncetum acutiflori). Het gaat hier om verschillen in absolute hoogte tussen de uitersten van niet meer dan 20 cm. Het afwijkende type met veel Spaanse Ruiter blijkt hier voor te komen bij een relatief hoge ligging en wateroplosbare fosfaatfractie (Pw).

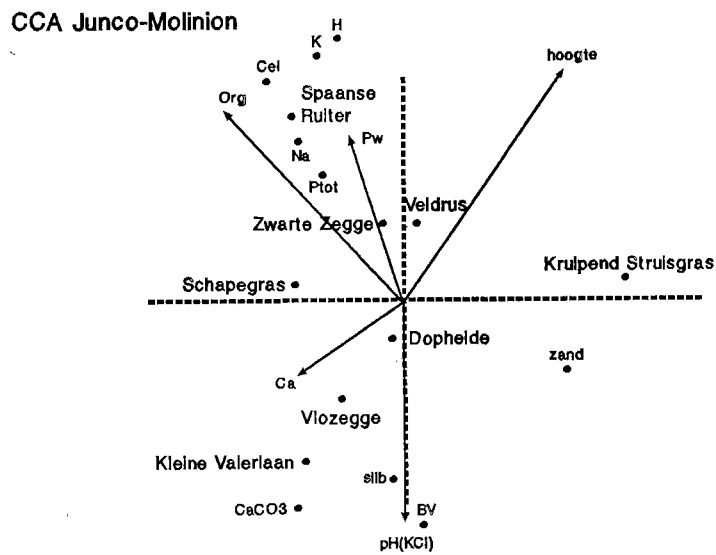
Uit figuur 10 blijkt, dat van de hier weergegeven soorten Vlozegge (*Carex pulicaris*) en Kleine Valeriaan (*Valeriana dioica*) gebonden zijn aan de relatief laag gelegen en calciumrijke plaatsen, Spaanse Ruiter (*Cirsium dissectum*), Zwarte Zegge (*Carex nigra*) en Veldrus (*Juncus acutiflorus*) aan relatief zure en hoger gelegen plekken en Kruipend Struisgras (*Agrostis canina*) aan relatief calciumarme plekken.

---

<sup>5</sup> De gegevens die in dit deel van het onderzoek gebruikt zijn, werden verzameld door Kemmers en Jansen (ICW, Wageningen; zie Kemmers en Jansen 1980, 1982; Jansen en Kemmers, 1980, 1982)



**Figuur 9:** Diagram met biplot-scores van opnamen en abiotische variabelen uit Groot Zandbrink (Uit Jalink en Jansen, 1989)



**Figuur 10:** Diagram met biplot-scores van soorten en abiotische variabelen uit Groot Zandbrink (Uit Jalink en Jansen, 1989)

Het voordeel van deze numerieke methode is, dat op het eerste gezicht onduidelijke relaties in de biplot toch naar voren kunnen komen. Op deze wijze wordt een indruk verkregen van de relatieve verschillen tussen gemeenschappen en soorten, zoals die op een bepaalde locatie optreden. Voor een vertaling naar andere gebieden is het noodzakelijk om aan de vegetatietypen en plantesoorten ook een absolute waarde voor de verschillende milieuparameters te kunnen koppelen.

Resumerend zijn er dus drie methoden, die in het locatie-onderzoek meestal in combinatie worden toegepast. Het onderzoek naar veranderingen in de tijd levert een goed inzicht op in de manier waarop vegetaties veranderen en welke soorten het eerst reageren of juist langdurig naijlen. Dit is van groot belang voor de keuze van te monitoren indicatorsoorten. Het onderzoek naar ruimtelijke relaties geeft inzicht in de sturende factoren in een landschap en maakt duidelijk, waarom een bepaalde soort op een bepaalde plaats in dat landschap voorkomt. Deze kennis is van belang voor het interpreteren van de oorzaken van veranderingen in vegetatie- en soortverspreiding. De numerieke analyse is een krachtig gereedschap, waarmee ook voor het oog onduidelijke relaties toch kunnen worden herkend. Met deze methode is het mogelijk de soorten en vegetatietypen te rangschikken langs milieuassen en daarin ook vrij subtiele onderscheiden aan te geven. Voor een optimaal gebruik moet deze techniek steeds worden gecombineerd met een landschapsecologische analyse van ruimtelijke patronen.

#### 4. RESULTATEN: INDICATIEWAARDEN VAN SOORTEN EN VEGETATIES

Zoals eerder vermeld, is het resultaat van de locatie-onderzoeken en de daarop volgende regionalisatie een beschouwing van de omstandigheden waaronder het betreffende vegetatietype in de regio voorkomt en van de syntaxonomische<sup>6</sup> veranderingen bij successie of degradatie van het type. Tevens wordt per vegetatietype van de daarin voorkomende soorten de indicatie aangegeven. Deze indicatie is wat betreft pH, natheid en trofie veelal weergegeven in relatieve termen, "gemeten" ten opzichte van de (vroeger) meest voorkomende of typische vorm van een vegetatietype. Meer nominaal is de aanduiding voor indicaties ten aanzien van operationele en positionele factoren, zoals kwel of infiltratie, grondwatertype, regenwaterlenzen, mineralisatie e.d..

Wat het onderzoek oplevert is het volgende:

- inzicht in de relatie tussen vegetatie en abiotiek in het betreffende systeemtype
- inzicht in de verandering van vegetaties onder invloed van een veranderende abiotiek
  - welke soorten verdwijnen of verschijnen, in welke volgorde
  - welke soorten vertonen daarbij een eenduidig gedrag, welke ijlen na of gaan qua aantal exemplaren sterk schommelen
- per vegetatietype een aantal goed herkenbare indicatorsoorten met een duidelijk interpreteerbare indicatie, die in ieder geval binnen de regio geldig geacht mag worden.

---

<sup>6</sup> Syntaxonomie is de wetenschap, die de hiërarchische indeling van plantengemeenschappen bestudeert en beschrijft.

Het *Cirsio-Molinietum* is een hooilandgemeenschap, die in dit (Gelders) district gebonden is enerzijds aan een kalkrijke grondwatercomponent, anderzijds aan een oppervlakkige invloed van lokaal grond- of regenwater. Er treedt in dit type dus een stratificatie van deze watertypen op, waarbij de mate van invloed van beide bepalend is voor de soortensamenstelling, en goed valt te vertalen naar de onderverdeling in subassociaties. Het *Cirsio-Molinietum* komt hier veelal voor op beekerdgronden en is mesotroof, niet zozeer doordat stikstof beperkend is als wel door fosfaatbeperking (Egloff, 1983; Grootjans, 1985). Geringe ontwateringen kunnen in deze gemeenschap een groot effect hebben op de vegetatiesamenstelling, door een verschuiving in pH en basenverzadiging (zie 4.) en als gevolg daarvan ook de oplosbaarheid van fosfaatzouten (Kemmers en Jansen, 1988), natheid (4., Romeyn, 1990; Hopper, 1984; Schipper en Grootjans, in voorb.) en door een sterk verhoogde nutriëntenbeschikbaarheid als gevolg van mineraliserend organisch materiaal (Grootjans, 1985).

*Parnassia palustris* (K), *Schoenus nigricans* (W) en *Dactylorhiza incarnata* (F) komen voor bij een overheersende invloed van kalkrijk, regionaal grondwater. Daardoor is de grondwaterstand in de subassociatie *parnassietosum*, waarvoor deze soorten differentiëren vrij constant, zijn pH en basenverzadiging hoog (neutraal) en treden mesotrofe condities op ("kalkoligotrofie"). Het zijn juist deze soorten, die bij een geringe ontwatering en verzuring al snel uit de vegetatie verdwijnen....

*Carex pulicaris* (F) komt eveneens vooral in de kalkrijke blauwgraslandtypen voor en verdwijnt van de kenmerkende zeggen uit deze associatie als eerste bij ontwatering en verzuring.....geeft aan, dat deze soort na een opleving vrij plotseling grotendeels kan verdwijnen.

*Carex hostiana* (W) duidt ..... op een (voormalige) invloed van diep grondwater, kan echter ook onder invloed van lokaal grondwater voorkomen bij een hoge basenverzadiging, zwak zure tot neutrale pH, natte, mesotrofe tot zwak eutrofe omstandigheden. Deze soort houdt langer stand dan de vorige en kan eventueel in de vegetatie gaan domineren.....

**Figuur 11:** Voorbeeld van enkele beschrijvingen van indicatiewaarden (Jalink en Jansen, 1989)

## 5. TOEPASSINGEN

### 5.1 Interpretatie

De wijze waarop het onderzoek is opgezet legt enkele randvoorwaarden op ten aanzien van het gebruik ervan. De indicatie is alleen geldig binnen het vegetatietype en binnen het landschapstype waarvoor ze gegeven is. Dit betekent, dat aan het gebruik van dit indicatorensysteem altijd een goede vegetatiekartering ten grondslag moet liggen. Verder betekent het ook, dat in zwaar gestoorde systemen (ingezaaide graslanden, boomplantages) of bij onnatuurlijk steile gradiënten (slootkanten, taluds) in beginsel de indicatie niet geldig is. In grote lijnen zijn de indicatiewaarden

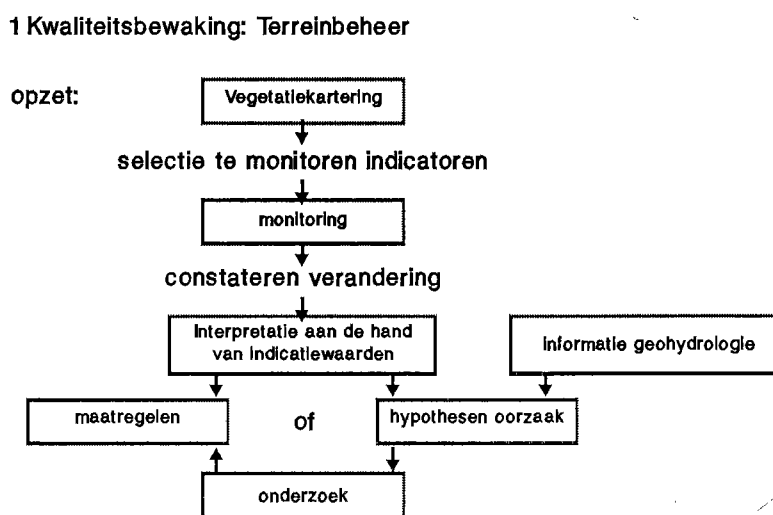
bepaald voor min of meer vlakvormende (eventueel lijnvormig begeleidende) vegetatietypen van graslanden, bossen en verlandingsvegetaties. In veel gevallen is ook wel een meer algemene indicatie aangegeven.

Bij de interpretatie van veranderingen in de soortensamenstelling moet er mee rekening worden gehouden of soorten van nature sterk in aantal fluctueren of juist heel lang naijlen en of wellicht op relatief korte termijn spelende klimaatsfluctuaties een rol spelen. Ook de voorgeschiedenis en het gevoerde beheer moeten erbij betrokken worden.

De indicatiewaarde van soorten en vegetaties is duidelijker naarmate het vegetatietype meer natuurlijk is (Grootjans, 1985; Jalink en Jansen, 1989). Hoe meer een vegetatie aan cultuurinvloeden onderhevig is, des te minder exact blijkt de indicatie te zijn. Wel geven de soorten die hun zwaartepunt in meer natuurlijke vegetaties hebben in zwaar cultuur-beïnvloede typen een indicatie over de potentie voor het ontwikkelen van natuurwaarden. In reservaten streeft men ernaar om ofwel onbeïnvloede, "natuurlijke" vegetatietypen te ontwikkelen of behouden (hoogveen, "oerbos") ofwel minder (natte heide, blauwgraslanden, kleine en grote zeggenvegetaties, bossen) of meer beïnvloede, "halfnatuurlijke" (dotterbloemhooilanden, kamgrasweiden). Zwaar beïnvloede typen komen alleen als beginstadium in natuurbouwprojecten voor of kunnen ontstaan door extreme externe invloeden.

Meestal treedt bij verschillende soorten tegelijk een verschuiving op. De indicaties van deze soorten moeten dan gecombineerd worden. Uit deze gecombineerde interpretatie kan meer informatie worden verkregen dan uit interpretatie van afzonderlijke indicaties.

## 5.2 Terreinbeheer: kwaliteitsbewaking van natuurterreinen



Figuur 12: Methodestappen bij de kwaliteitsbewaking van natuurterreinen



De algemene opzet voor kwaliteitsbewaking is als volgt (zie figuur 12). Eerst dient een vegetatiekartering plaats te vinden, waarbij een typologie moet worden gebruikt, die aansluit bij de bestaande vegetatiekundige literatuur (Westhoff en den Held, 1969; Schaminee e.a., diverse delen in voorb.). Op basis van de gevonden typen wordt dan besloten welke soorten binnen deze typen het beste gevolgd kunnen gaan worden. Criteria daarbij dienen te zijn dat alle mogelijke veranderingen door één of meer soorten gedetecteerd worden en dat deze soorten snel en eenduidig reageren op de veranderingen. Deze soorten dienen jaarlijks of tweejaarlijks gekarteerd te worden. Verschuivingen in de verspreiding of in de bedekking van soorten dienen steeds te worden geïnterpreteerd in samenhang met klimatologische verschillen tussen jaren, natuurlijke successie en eventueel genomen beheersmaatregelen. Leidt deze interpretatie desondanks tot de conclusie dat er een ongewenste ontwikkeling plaatsvindt, dan dienen maatregelen te worden genomen, of er moet onderzoek worden uitgevoerd naar de onderliggende oorzaken.

### **5.3 Effectvoorspellingen: gebiedsinterpretatie**

Bij het voorbereidend onderzoek voor landinrichtingsprojecten of bij vergunning-onderbouwend onderzoek voor het stichten van grondwaterwinningen wordt veel gebruik gemaakt van de ecohydrologische interpretatie van gebieden op basis van de verspreiding van plantengemeenschappen of plantesoorten (zie b.v. Everts en De Vries, 1987; Jansen, 1990; Jalink, 1990). Als er een vegetatiekaart beschikbaar is kan deze techniek waar nodig worden verfijnd worden door de indicaties van plantensoorten te beperken tot de gemeenschappen, waarin ze voorkomen. Op basis van de indicaties van de soorten kunnen dan hypothesen over fijschalige geohydrologische en geohydrochemische systemen worden gegenereerd, van waaruit verder onderzoek kan plaatsvinden. Op basis van deze fijschalige gebiedsinterpretatie kunnen de effecten van ingrepen in het landschap meestal ook nauwkeuriger worden voorspeld.

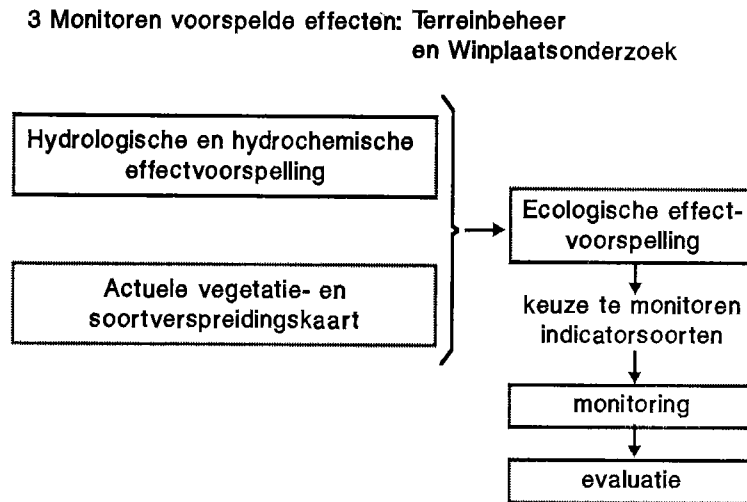
### **5.4 Effect-evaluatie: het monitoren van voorspelde effecten**

Wordt in een landschap ingegrepen, dan verwacht men dat er effecten zullen optreden op vegetatie- en soortverspreiding. Door het monitoren van flora en vegetatie kan gecontroleerd worden of de voorspelde effecten inderdaad optreden. Vervolgens kunnen dan de opgetreden veranderingen geëvalueerd worden en geïnterpreteerd aan de hand van de indicatiewaarden (zie figuur 13).

Voor het winplaatsonderzoek is het van belang een dergelijk instrument te hebben om bijvoorbeeld aan het eind van een proefperiode van een voorlopige onttrekkingsvergunning te kunnen evalueren, welke effecten wel en niet zijn opgetreden. Door de interpretatie van de indicatiewaarden kan een indruk worden verkregen van welke veranderingen wel en niet aan de betreffende winning zijn toe te schrijven.

Bij het terreinbeheer kan deze mogelijkheid gebruikt worden om in een vroeg stadium te kunnen controleren of compenserende maatregelen die een beheerder neemt, inderdaad werken zoals voorspeld en welke neveneffecten optreden. Daarbij moet bijvoorbeeld worden gedacht aan maat-

regelen tegen de effecten van zure depositie (zie b.v. Cals en Roelofs, 1990; Jansen, 1990) of aan maatregelen tegen verdroging zoals het opstuwen van gebiedseigen water (zie b.v. Grootjans e.a., 1990).



**Figuur 13:** Methodestappen bij het monitoren van voorspelde methoden

## 6. DISCUSSIE

Door de standplaatseisen van plantesoorten te plaatsen binnen relatief homogene landschapstypen kan aan het voorkomen van soorten naast informatie over operationele standplaatsfactoren ook informatie worden ontleend over de sturende factoren in het landschap. Wordt de soort ook nog binnen relatief homogene vegetatietypen beschouwd, dan is de indicatie die eraan ontleend kan worden veel nauwer omschreven. Deze extra verfijning is des te groter naarmate een vegetatietype meer natuurlijk is. Daardoor levert het voorgestelde indicatorsoortensysteem vooral in natuurgebieden zeer veel informatie op over abiotiek en beheer. Dit is van groot belang voor instanties, die natuurterreinen beheren. Zij moeten immers de kwaliteit van hun terrein nauwlettend in de gaten houden. Daarbij is dit systeem een gevoelig en vrij eenvoudig meetapparaat. Maar het systeem is ook van groot belang voor de beoordeling van vergunningaanvragen voor grondwateronttrekkingen. Juist in natuurreervaten is de relatie tussen hydrologie, bodem en vegetatie vaak nog relatief ongeschonden. Ingrepen in de waterhuishouding zullen hier dan ook relatief de grootste invloed hebben, die veelal strijdig is met de maatschappelijke doelstelling van natuurbescherming. Voor een goede inschatting van de effecten is het daarom van belang de relatie zo gedetailleerd mogelijk te onderzoeken om zo tot een goed onderbouwde effectvoorspelling te kunnen komen. Bijkomend voordeel is dat, wanneer dit systeem door beide partijen wordt gebruikt, er over de gebruikte methode overeenstemming bestaat. De procedure rond vergunningverleningen zal daardoor voor de diverse belanghebbenden duidelijker verlopen, aangezien de beslissing uiteindelijk een puur beleidsmatige wordt.

## LITERATUUR

- Braak, ter, C.J.F., 1986: Canonical correspondence analysis: a new eigenvector technique for multivariate direct gradient analysis. *Ecology* 67 p.1167-1179
- Braak, ter, C.J.F., 1987a: CANOCO -a FORTRAN program for canonical community ordination by [partial] [detrended] [canonical] correspondence analysis, principal components analysis and redundancy analysis (version 2.1). T.N.O., Wageningen
- Braak, ter, C.J.F., 1987b: Ordination. In: Jongman R.H., C.J.F. ter Braak and O.F.R. van Tongeren: Data analysis in community and landscape ecology. PUDOC, Wageningen. p.91-173
- Calis, J.N.M., Wetten, van, J.C.J., 1983: Onderzoek van successie en hydrologie in het trilveencomplex "De Wobberibben" (De Weerribben, N.W.-Overijssel). Intern rapport Hugo de Vrieslab. nr.153 U.v. Amsterdam.
- Cals, M.J.R., Roelofs, J.G.M., 1990: Prae-advies effectgerichte maatregelen tegen verzuring en eutrofiëring in matig mineraalrijke heide- en schraallanden. Vakgroep Aquatische Oecologie en Biogeologie, K.U. Nijmegen
- Everts, F.H., Vries, de, N.P.J., 1987: Landschapsecologisch onderzoek "Roden-Norg". Mededelingen Landinrichtingsdienst nr.169/ Bureau van der Wal en Langbroek, Leeuwarden.
- Grootjans, A.P., 1985: Changes of groundwater regime in wet meadows. Proefschrift R.U. Groningen
- Grootjans, A.P., Esselink, H., Diggelen, van, R., Hartog, P., Jager, T.D., Hees, van, B., Oude Munninck, J., 1990: Decline of rare calciphilous dune slack species in relation tot decalcification and changes in local hydrological systems. Proceedings Coastal Dune Congress 1989, Sevilla (in press).
- Hoed, den, M.A., 1985: De samenwerking tussen hydrologen en ecologen. Referaat voor de Hydrologische Kring. KIWA, Nieuwegein.
- Jalink, M.H., 1990a: De invloed van uitbreiding van de grondwaterwinning Luyksgestel op de vegetatie van Stevnsbergen, het Zwartven en de Zwarte Weijer. KIWA-rapport SWO-89.303. Nieuwegein
- Jalink, M.H., 1990b: De Wobberibben. In: Jansen, A.J.M. (red): Effect-gerichte maatregelen voor verzuring in natte schraallanden. KIWA-rapport SWO-90.244
- Jalink, M.H., 1991: (in voorb.): Indicatorsoorten voor verdroging, verzuring en eutrofiëring in trilveenvegetaties. KIWA-rapport SWE-90.037, Nieuwegein
- Jalink, M.H., Jansen, A.J.M., 1989: Indicatorsoorten voor verzuring, verdroging en eutrofiëring in grondwaterafhankelijke beekdalvegetaties. KIWA-rapport SWE-89.029, Nieuwegein.
- Jansen, A.J.M., 1990a: Effectenonderzoek ten behoeve van de stichting van een grondwaterwinplaats nabij Opperduin. Deelrapport 4: ecologie. KIWA-rapport SWO-89.269, Nieuwegein
- Jansen, A.J.M. (red.), 1990b: Effectgerichte maatregelen voor verzuring in natte schraallanden. KIWA-rapport SWO-90.244
- Jansen, P.C., Kemmers, R.H., 1980: Relaties tussen hydrologische parameters en enkele vegetatietypen van het C.R.M.-reservaat "Groot Zandbrink". ICW-nota 1180 Wageningen
- Jansen, P.C., Kemmers, R.H., 1982: Aanvullingen betreffende de hydrologie van het CRM-reservaat 'Groot Zandbrink'. ICW-nota 1326 (vervolg op 1180) Wageningen

- Kemmers, R.H., Jansen, P.C., 1980: De invloed van chemische factoren in grondwater en bodem op enkele vegetatietypen in het C.R.M.-reservaat "Groot Zandbrink". Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Wageningen, Nota 1181-I.
- Kemmers, R.H., Jansen, P.C., 1982: Redoxpotentialen en calcium in relatie tot de stikstof- en fosfaathuishouding van de schraalgraslandjes in het CRM-reservaat "Groot Zandbrink". ICW-nota 1330 Wageningen
- Londo, G., 1988: Nederlandse freatofyten. Pudoc, Wageningen.
- Schaminee, J.H.J., e.a., 1988, 1989, 1990: Plantengemeenschappen van Nederland. Diverse delen in concept als intern RIN-rapport, Leersum.
- Soest, van, J.L., 1929: Plantengeografische districten in Nederland. De Levende Natuur 33 p.311-318
- Touber, L., 1973: Hydrologisch onderzoek in enige verlande petgaten in het C.R.M.-reservaat "De Weerribben", N.W.-Overijssel. Intern rapport Hugo de Vrieslab. nr.3 U.v. Amsterdam.
- Weeda, E., 1990: Over de plantengeografie van Nederland. In: R. van der Meijden e.a.: Heukels' Flora van Nederland. Wolters-Noordhoff, Groningen.
- Westhoff, V., Held, den, A.J., 1969: Plantengemeenschappen in Nederland. Thieme, Zutphen
- Westhoff, V., Bakker, P.H., Leeuwen, van, C.G., Voo, van der, E.E., 1971: Wilde planten. Flora en vegetatie in onze natuurgebieden. 3 delen. Vereniging tot behoud van natuurmonumenten in Nederland.
- Wirdum, van, G., 1979: Ecoterminologie en grondwaterregime. W.L.O.-mededelingen 6:3 p.19-24
- Wirdum, van, G., 1991: Vegetation and hydrology of floating rich fens. Thesis, University of Amsterdam. Datawyse, Maastricht. 310 pp.

# HET SPEURWERKPROJECT ECOLOGISCHE ASPECTEN VAN GRONDWATERWINNING; EEN TUSSENSTAND.

A.J.M. Jansen  
 KIWA N.V.  
 Afdeling Winning en Bodem

## SAMENVATTING

*Eerst worden enkele theoretische aspecten van de relatie vegetatie-waterhuishouding behandeld. Daarna wordt aan de hand van voorbeelden de stand van zaken van het speurwerkproject Ecologische Aspecten van Grondwaterwinning besproken. Aan de orde komen het gebruik van de vegetatie- en soortverspreidingsgegevens voor het inschatten van abiotische standplaatsfactoren en hydrologische processen, de samenstelling van grond- en oppervlaktewater, de integratie van abiotische en biotische gegevens en de vegetatiekundige reconstructie. Vervolgens wordt ingegaan op de te ontwikkelen ecologische effectvoorspellingsmethode. Het ontwikkelen van zo'n methode is goed mogelijk als grondwatermodellering plaatsvindt op een niveau dat aansluit bij dat van het vegetatiepatroon. De output van het grondwatermodel bestaat uit duurlijnen per cel, waarbij de cel karakteristiek is voor een vegetatietype. De resultaten van het grondwatermodel kunnen dan geïjkt worden op de vegetatiekaart. Vervolgens kunnen de duurlijnen van voor en na de ingreep in de waterhuishouding statistisch getoetst worden. Wanneer verschillen gevonden worden, worden de duurlijnen van de nieuwe situatie getoetst op die van vegetatietypen opgeslagen in een referentiecollectie. De meest overeenkomstige duurlijn geeft dan aan welk vegetatietype verwacht mag worden op grond van het verloop van de grondwaterstand. In de diverse toetsingsstadia worden op basis van een deskundigenoordeel de veranderingen in de chemische samenstelling van het grond- en oppervlaktewater en de effecten daarvan op de vegetatie ingeschat.*

## 1. INLEIDING

Alvorens de stand van zaken van het speurwerkproject Ecologische Aspecten van Grondwaterwinning zal worden besproken, zal eerst worden ingegaan op het soort kennis dat nodig is voor de voorspelling van de ecologische effecten van een grondwaterwinning. Deze bijdrage zal besluiten met een overzicht van de nog te ondernemen activiteiten om tot een ecologisch effectvoorspellingsmodel te komen.

## 2. DOEL SPEURWERKPROJECT

In het meerjaren VEWIN-speurwerkprogramma 1988-1992 en het projectplan Ecologische Aspecten van Grondwaterwinning (Jansen, concept) is de volgende doelstelling geformuleerd:

Het tot stand brengen van een methode die, ten behoeve van de vergunningverlening voor de winning van grondwater, een zo kwantitatief mogelijke voorspelling geeft van de ecologische effecten van een winning, zodanig dat er sprake is van een optimale integratie van ecologische en hydrologische kennis, methoden en schalen. Deze methode zal geaccepteerd moeten worden door bij de vergunningverlening betrokken instanties.

Naast het tot stand brengen van een dergelijke methode, blijft het informeren van de bedrijfstak over de voortgang van de ontwikkelingen betreffende de ecologische aspecten van grondwaterwinning een belangrijke taak.

KIWA N.V. is niet de eerste (en enige) die zich bezighoudt met het ontwikkelen van een voorspellingsmethode van de ecologische effecten van grondwaterwinning en andere ingrepen in de waterhuishouding. Voor dit doel zijn reeds eerder methoden ontwikkeld. De meest relevante zijn WAFLO (Fahner en Wiertz, 1987), ICHORS (Barendregt en Wassen, 1989) en de RUG-methode (Everts en De Vries, 1986; Jansen en Van Diggelen, 1987; Kok en Schipper, 1988). Vanzelfsprekend zal de in deze modellen gegenereerde kennis worden toegepast bij de ontwikkeling van onze methode. De in de RUG-methode geïntroduceerde analyse van de relatie vegetatie-waterhuishouding is onderdeel van onze methode. De inbreng van en koppeling met de uitkomsten van grondwatermodellen in de effectvoorspellingsfase van genoemde methoden is nog onvoldoende. Dit is te wijten aan de schaal en de mate van nauwkeurigheid van grondwatermodellen, alsmede aan nog onvoldoende begrip van de rol van kwel en kwelintensiteit. Onze methode zal in deze lacunes moeten voorzien. Vervolgens moet worden nagegaan wat hiervan de implicaties zijn op de (wijze van) ecologische effectvoorspelling.

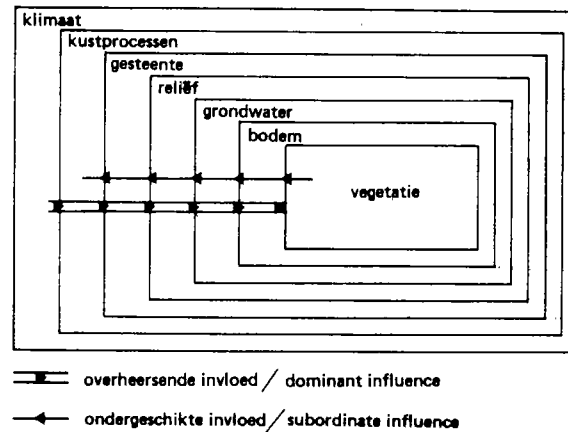
Vanaf de tweede helft van de jaren zeventig heeft het interdisciplinaire vakgebied van de ecohydrologie zich ontwikkeld en een grote vlucht genomen. Het kan overigens beter hydro-ecologie genoemd worden omdat het tracht het voorkomen en de ontwikkeling van de soortensamenstelling en vegetatie te verklaren vanuit sturende hydrologische factoren en processen. Voor dit vakgebied basale inzichten zijn ontwikkeld door Grootjans (1985), Kemmers (1981 en 1986) en Van Wirdum (1979 en 1986). De hydro-ecologie vormt het theoretische uitgangspunt voor onze effectvoorspellingsmethode. Allereerst zal een korte toelichting op deze benaderingswijze en de daarvoor benodigde kennis worden gegeven.

### **3. ENIGE THEORETISCHE ACHTERGRONDEN**

#### **3.1 Hydro-ecologie en landschapsecologie**

De hydro-ecologie is een onderdeel van het vakgebied landschapsecologie. In de landschapsecologie tracht men veranderingen in onderdelen van het landschap te verklaren uit invloeden die zij ondervinden door hun plaats in dat landschap.

Wanneer men in deze definitie voor "onderdelen van het landschap" leest "vegetatie" en voor het "plaats .....in dat landschap" "het grond- en oppervlaktewater" dan zal duidelijk zijn dat in de hydro-ecologie de relatie tussen vegetatie en grondwater centraal staat. Deze relatie kan echter niet goed worden begrepen zonder kennis van de rol van het grondwater in het landschap.



**Figuur 1:** Rangordemodel volgens Bakker et al. (1981). Bron: Bakker et al. (1981)

Bij de rol van het grondwater in het landschap en de invloed van grondwater op de vegetatie wordt in de hydro-ecologie uitgegaan van het zogenaamde "rangordemodel" (Bakker et al, 1981). Wanneer het landschap wordt beschouwd als een ecosysteem dan zullen de componenten van een landschap elkaar wederzijds beïnvloeden (zie figuur 1). Deze wederzijdse beïnvloeding is in de regel van ongelijk belang. Daardoor kunnen de componenten hiërarchisch worden gerangschikt naar belangrijkheid, met andere woorden de ene factor domineert over de andere. Zo zullen de geologische gelaagdheid en het reliëf van een gebied de grondwaterstroming en -standen direct beïnvloeden; de eroderende werking van stromend water zal geen of pas over een veel langere termijn invloed hebben op die geologische gelaagdheid. De geologische gelaagdheid is op haar beurt weer veroorzaakt door klimatologische omstandigheden in het verleden. Hoogteligging en grondwaterstanden bepalen vervolgens weer de bodemopbouw; in hoge, droge gebieden zullen podsolen en in lage natte gebieden zullen veen- en moerige gronden ontstaan. Deze totale variatie in milieuomstandigheden komt tot uiting in de vegetatiesamenstelling. Waar de milieuomstandigheden anders zijn, zullen andere vegetatietypen aanwezig zijn. Daarom is de vegetatie een belangrijk instrument om verschillende milieuomstandigheden te kunnen detecteren.

### 3.2 Vegetatiekunde

De vegetatiekunde (zie Westhoff en Den Held, 1975) is de wetenschap die de vegetatie bestudeert en als empirisch uitgangspunt hanteert, dat de vegetatie geen chaos vertoont, maar dat plant-individuen zijn gerangschikt op een bepaalde, blijkbaar wetmatige wijze, zo, dat men de individuen van bepaalde plantesoorten op bepaalde plaatsen veelal tezamen aantreft, de individuen van andere soorten daarentegen op een andere plaats. Met andere woorden, de vegetatie blijkt een structuur in ruimte en tijd te vertonen. Deze structuur is het gevolg van een selectieproces, dat de resultante

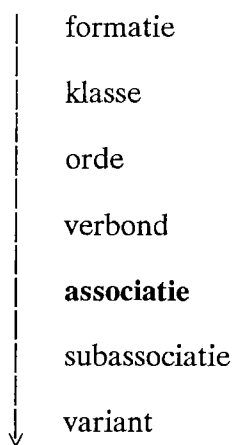
is van zowel de verspreidingsmogelijkheden van soorten, de eisen die soorten aan het milieu stellen en de verhoudingen die tussen de afzonderlijke individuen bestaan. Deze niet chaotische ruimtelijke verspreiding is duidelijk zichtbaar in figuur 2 (figuur 2 staat op pagina 88).

De structuur en de floristische samenstelling van de vegetatie, d.w.z. de soorten en de hoeveelheden van die soorten, kan men kwantitatief en kwalitatief analyseren. Op grond van de vergelijking van deze analyses kan men dan komen tot een opstelling en onderscheiding van vegetatie-eenheden, ook wel vegetatietypen of plantengemeenschappen genoemd.

Onder een plantengemeenschap wordt verstaan (Westhoff en Den Held, 1975): Een ruimtelijke, uit zichzelf aangenomen, groepering van elkaar beïnvloedende planten, die in een zeker evenwicht verkeert en een bepaalde, min of meer homogene standplaats bevolkt.

Van gebieden kan men een overzicht maken van voorkomende plantengemeenschappen. Voor Nederland is dit gedaan door Westhoff en Den Held (1975). De voor zo'n gebied beschreven plantengemeenschappen staan niet in een willekeurige volgorde, maar zijn hiërarchisch gerangschikt. De fundamentele vegetatie-eenheid, de associatie, kan met andere associaties verenigd worden tot hogere eenheden als ze bepaalde soorten gemeen hebben en in zeker opzicht verwante standplaatsen bevolken. Ook kan men binnen de associatie een onderverdeling aanbrengen. Het hiërarchisch systeem van de vegetatiekunde is opgenomen in figuur 3.

Dit hiërarchische systeem is analoog aan dat van de plantkunde. Hier is de soort de fundamentele eenheid. Soorten met verwante kenmerken worden verenigd tot hogere eenheden als geslachten, families enz. Ook de soort kan worden onderverdeeld in de lagere eenheden ondersoort, type en ras.



**Figuur 3:** *Hiërarchisch systeem van de vegetatiekunde. De eenheden zijn van hoog naar laag gerangschikt. De formatie is dus het meest globale niveau, de variant het meest gedetailleerd. De standplaatseigenschappen van de formatie zijn het breedst, die van de variant het smalst.*



In de definitie van een plantengemeenschap ligt de relatie met het milieu besloten: elke plantengemeenschap heeft een eigen specifiek milieu, ook wel standplaats genoemd.

### 3.3 Standplaatsfactoren

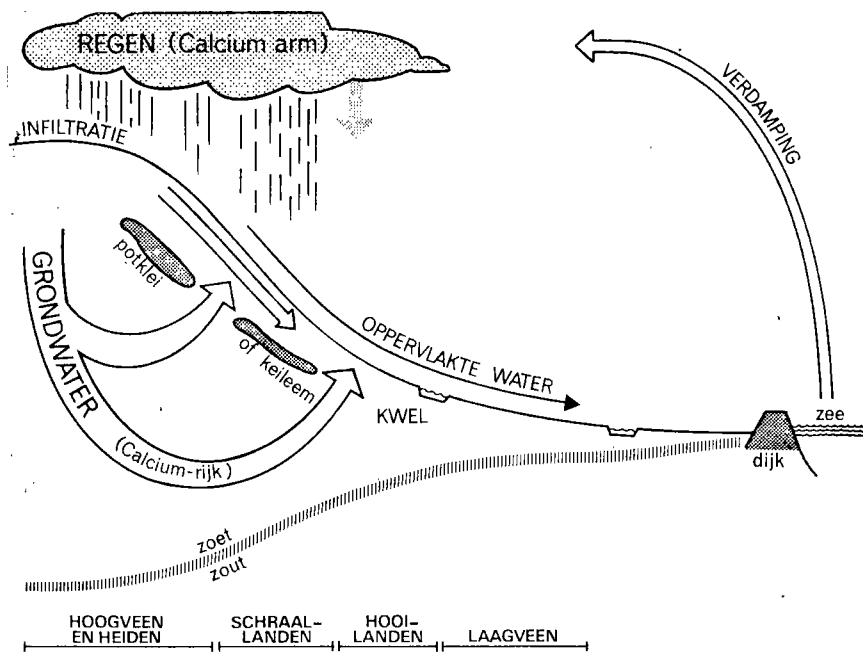
In het milieu van de standplaats kan een aantal factoren worden onderscheiden, de zogenaamde standplaatsfactoren. Als men weet welke standplaatsfactoren het meest relevant zijn voor een vegetatie en men het bereik van deze standplaatsfactoren kent, dan kan men inzicht verwerven in de relatie tussen plantengemeenschap en standplaatsfactoren. Het onderdeel van de vegetatiekunde dat zich hiermee bezighoudt, heet de synoecologie.

Als men de ruimtelijke verdeling van plantengemeenschappen over een terrein kent, dan kan men met de uit de literatuur beschikbare synoecologische kennis vrijwel direct aangeven welke standplaatsfactoren werkzaam zijn en -in kwalitatieve zin- over welk traject. Vervolgens is het relevant te weten welke processen deze omstandigheden veroorzaken. Kort gezegd kan men vegetatiekundige kennis inzetten om op standplaatsschaal de heersende abiotische milieu-omstandigheden te schatten om vervolgens met kennis van de aardwetenschappen te achterhalen welke processen verantwoordelijk zijn voor het ontstaan en instandhouden van deze milieuumstandigheden (rangordebenadering).

Welke standplaatsfactoren zijn in het kader van ons onderzoek nu relevant? Door grondwaterwinning of andere ingrepen in de waterhuishouding kan de (grond)waterstand veranderen. Van hoge grondwaterstanden afhankelijke plantengemeenschappen en soorten kunnen dan beïnvloed worden. De (grond)waterstand is voor ons onderzoek dus een relevante standplaatsfactor. De tweede relevante factor is de pH/basenverzadiging van de bodem in de wortelzone van de plant. Deze wordt bepaald door de chemische samenstelling van het water, die van plaats tot plaats verschilt (zie Jalink, 1990). Als gevolg van door ingrepen in de waterhuishouding veroorzaakte veranderingen in stromingspatronen kan de chemische samenstelling van het water veranderen. Dit resulteert in verandering van de bodemchemie, waardoor uiteindelijk de vegetatie beïnvloed zal worden. De derde relevante standplaatsfactor is de hoeveelheid voor de plant beschikbare voedingsstoffen. Deze trofiegraad, oftewel de mate van voedselrijkdom van het water en de bodem, wordt mede bepaald door de grondwaterstand en de chemische samenstelling van het water (zie Jalink, 1990). In onderstaande zal dit geïllustreerd worden.

### 3.4 De waterkringloop bepaalt de standplaatsfactoren

De positie van vegetatietypen in de waterkringloop bepaalt hun standplaatscondities. Dit kan worden afgelezen uit figuur 4, waarin plantengemeenschappen op een hoog hiërarchisch niveau zijn afgebeeld.

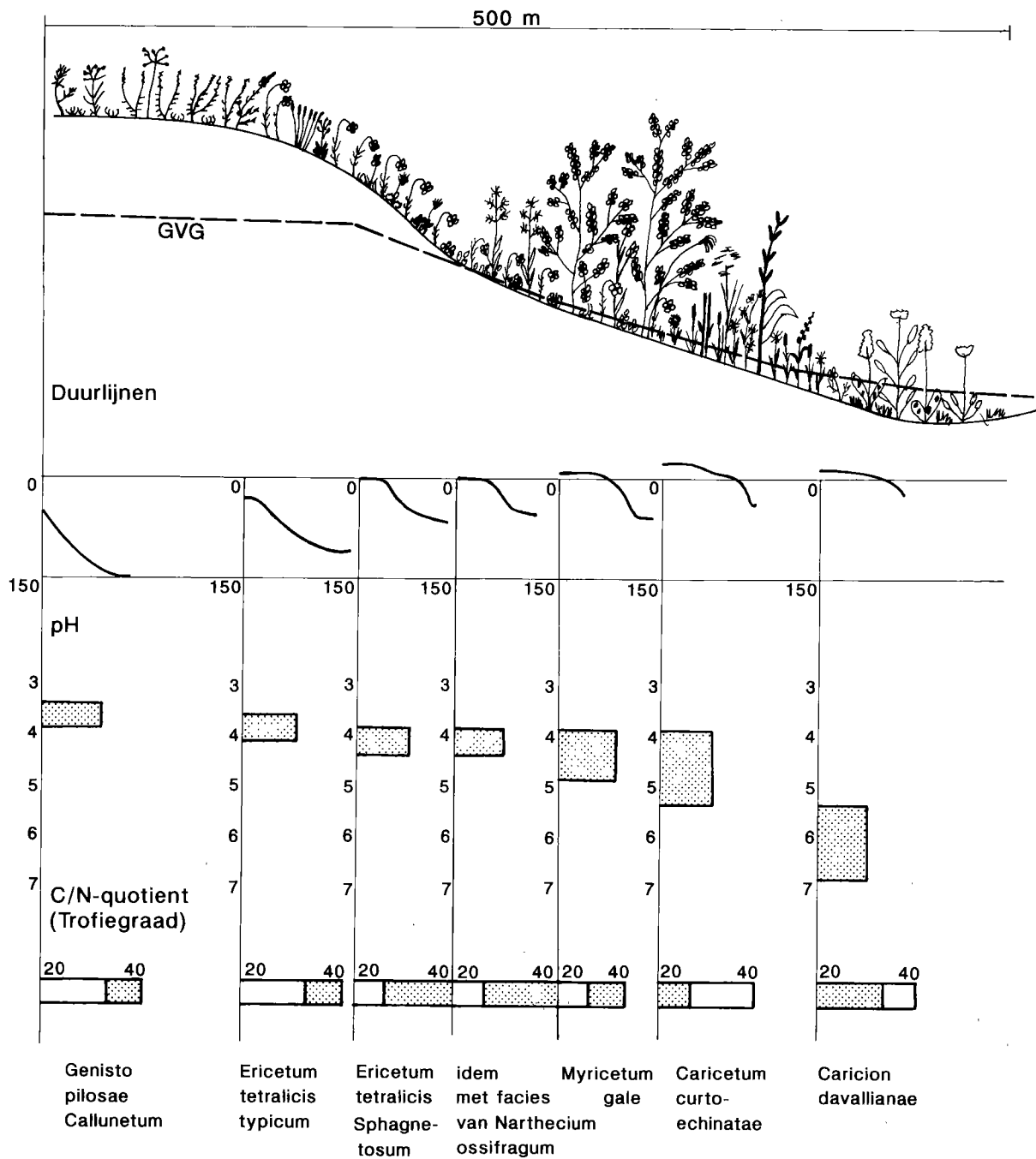


**Figuur 4:** De waterkringloop en de verscheidenheid in plantengroei. Bron: Van Diggelen et al, 1986.

Door verdamping komt water in de atmosfeer. Hieruit ontstaat neerslag. De neerslag die op het land valt, verdampt voor een deel, een ander deel stroomt oppervlakkig af of infiltreert in de bodem. Het water infiltreert in hooggelegen, veelal droge tot weinig vochtige gebieden, inzijg- of infiltratiegebieden genoemd. Hier komen vegetatietypen voor van heiden, droge bossen en hoogvenen. Het water komt na een meer of minder lange weg door de ondergrond uiteindelijk weer in lage gebieden aan het oppervlak, waardoor ter plekke natte omstandigheden ontstaan. Het uit-tredende water wordt dan via het oppervlaktewaterstelsel afgevoerd naar de zee. Tijdens de afgelegde weg verandert de samenstelling van het geïnfilterde regenwater. Regenwater is zuur en agressief en lost tijdens transport door de bodem kalk en andere mineralen op.  $\text{CO}_2$ -afgifte door planteworms en strooisel speelt daarbij ook een rol. In principe zal de last aan opgeloste ionen groter zijn naarmate de afgelegde weg langer is. Afhankelijk van de afgelegde weg en de hoeveelheid opgeloste ionen en voedingsstoffen zal uit-tredend water een verschillende chemische samenstelling kennen. Gaande naar steeds mineraalrijkere omstandigheden in combinatie met een steeds grotere mate van natheid komen plantengemeenschappen van achtereenvolgens schraallanden, hooilanden en laagvenen voor.

### 3.5 De vegetatiegradiënt als resultante van de variatie in standplaatsfactoren

In figuur 5 is een vegetatiegradiënt afgebeeld. Een vegetatiegradiënt is een geleidelijke overgang van plantengemeenschappen.



**Figuur 5:** Een vegetatiegradiënt met karakteristieken voor het verloop van de grondwaterstand (weergegeven als duurlijnen), de pH en de trofiegraad (als C/N-quotient). GVG = Gemiddelde Voorjaars Grondwaterstand.

Deze plantengemeenschappen zijn in deze figuur opgenomen met hun wetenschappelijke namen. Uit deze figuur blijkt de samenhang van de vegetatie met de zich geleidelijk wijzigende standplaatsfactoren grondwaterstandverloop (weergegeven als gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand en duurlijnen; zie 3.6), zuurgraad (pH) en trofiegraad (als C/N-quotient; zie 3.8). Elk vegetatietype bezet

een karakteristiek waardenbereik van een combinatie van standplaats eigenschappen. Uit de figuur kan tevens worden afgelezen dat kleine verschillen in standplaatsfactoren reeds voldoende zijn voor de aanwezigheid van een andere plantengemeenschap. Dit indiceert dat ook kleine veranderingen in standplaatsfactoren vaak tot grote veranderingen in de vegetatie- en soortensamenstelling aanleiding geven.

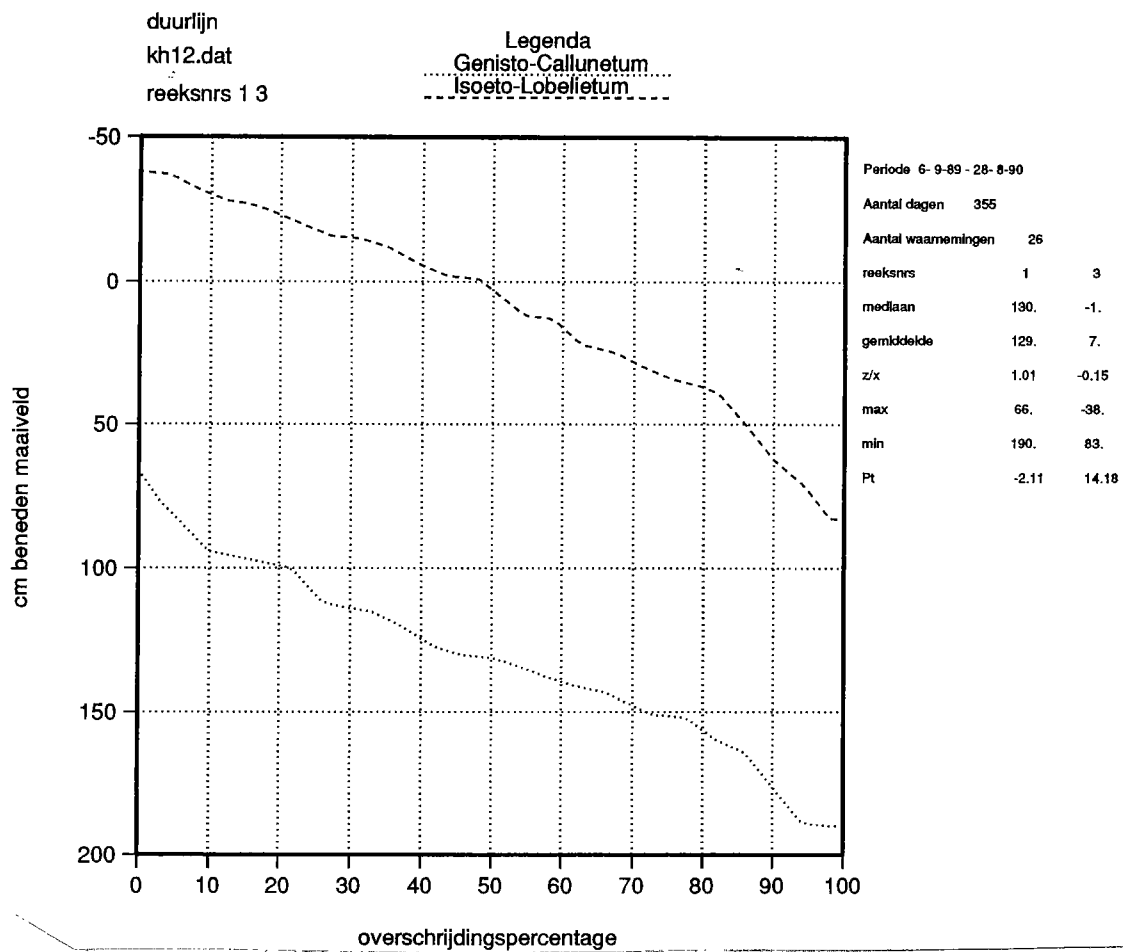
Figuur 5 zal bij de bespreking van de afzonderlijke standplaatsfactoren als rode draad fungeren.

### 3.6 Grondwaterstanden

Het verloop van de grondwaterstand over een bepaalde periode kan in tijdstijghoogtelijnen of in duurlijnen worden weergegeven. Een duurlijn (Jansen, 1981) is een cumulatieve bewerking van grondwaterstanden, waarbij de duur wordt aangegeven waarmee de in de beschouwing genomen periode voorkomende waterstanden worden overschreden. Een duurlijn wordt verkregen door in het tijd-stijghoogtediagram voor een aantal diepten van het grondwater het aantal dagen te sommeren waarop de desbetreffende stand wordt bereikt of overschreden. Uit duurlijnen kunnen eenvoudig laagste, hoogste, gemiddelde en mediane waterstand (de waterstand na 50% van de meetperiode) worden afgelezen of berekend (zie figuur 6).

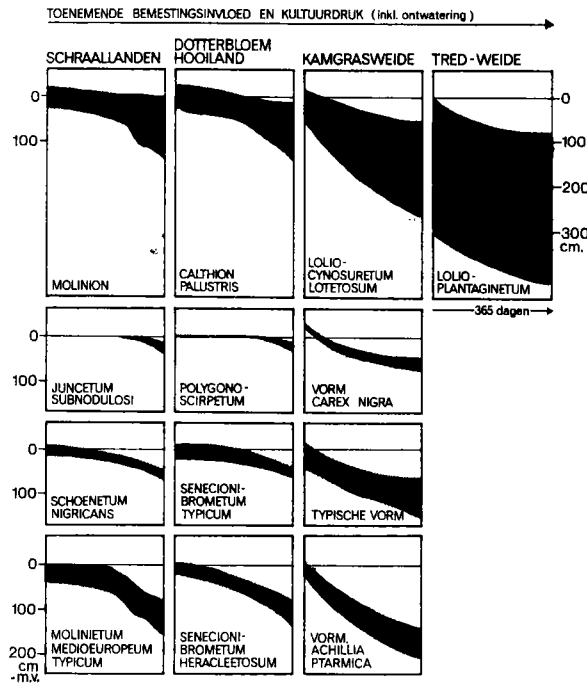
Wanneer van een punt over een reeks van jaren duurlijnen beschikbaar zijn, kunnen deze duurlijnen verwerkt worden tot duurlijnbundels. In zo'n duurlijnbundel wordt dan de variatie in duur van grondwaterstanden over een bepaalde periode voor die plaats weergegeven. Dit kan ook gebeuren voor plantengemeenschappen, zoals in figuur 7 is gedaan (Grootjans, 1985).

Uit deze figuur blijkt, dat op een hoog, maar gelijkwaardig hiërarchisch niveau, zie de bovenste rij, plantengemeenschappen voor de standplaatsfactor grondwaterstand vaak van elkaar verschillen. Zoals reeds eerder gesteld, blijkt uit de figuur tevens dat op het lagere hiërarchische niveau de relatie met standplaatsfactoren nauwer, scherper begrensd is. Dit is bijvoorbeeld -in de tweede kolom- te zien aan de gemeenschappen uit het Dotterbloemhooiland (Calthion). Deze gemeenschappen kennen duurlijnbundels, die tezamen de bundel van het Calthion vormen, maar ieder afzonderlijk duidelijk van elkaar verschillende bundels hebben. Naarmate de invloed van de mens groter wordt, dit is gaande van links naar rechts in de figuur, worden de duurlijnbundels breder. Dit betekent dat sterker door de mens beïnvloede plantengemeenschappen een minder scherpe relatie met grondwaterstanden bezitten. Uit de duurlijnbundel van het Poo-Lolietum (tredweide) is te zien, dat er amper meer gesproken kan worden van een relatie met de grondwaterstand; het type kan zo ongeveer bij alle waterstanden voorkomen. De factor trofiegraad, het gevolg van intensieve bemesting, overheerst hier volledig de factor grondwaterstand.

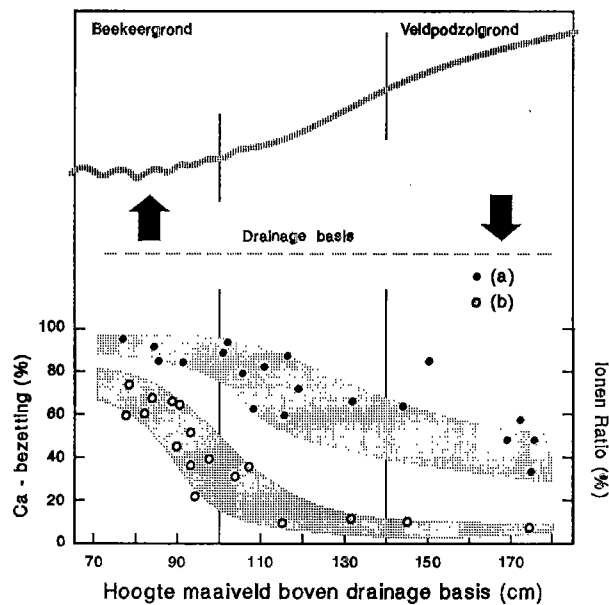


**Figuur 6:** Duurlijnen voor een tweetal vegetatietypen. Aan de rechterzijde zijn een aantal karakteristieken opgenomen.

In de vegetatiegradiënt (figuur 5) zijn afzonderlijke duurlijnen van plantengemeenschappen uitgezet. De vorm van de duurlijn geeft informatie over het optreden van en de mate van kwel en infiltratie. Links zijn duurlijnen te zien, die vanwege hun holle vorm karakteristiek zijn voor situaties waar regenwater inzigt. De derde en vierde duurlijn (S-vormig) geven aan dat afwisselend infiltratie en kwel van grondwater voorkomen. De laatste drie duurlijnen met hun bolle vorm zijn karakteristiek voor uitredend grondwater, dat tijdelijk boven maaiveld uitstijgt. De duur van grondwaterstanden boven maaiveld en de waarde van de laagste grondwaterstand nemen toe naar rechts.



**Figuur 7:** Duurlijnbundels van graslandvegetaties gerangschikt naar toenemende cultuurdruk (toenemende bemesting en ontwatering). De bovenste duurlijnbundels zijn samengesteld uit de eerder gepresenteerde gegevens van veel nauwer omschreven vegetatietypen. Bij toenemende cultuurdruk en op de synsystematische hogere niveaus wordt de duurlijnbundel breder door een grotere variatie in verloop van grondwaterstanden. Bron: Grootjans (1985).



**Figuur 8:** Ionenratio (IR) van het bovenste grondwater (zwarte stippen) en calciumbezetting van het adsorptiecomplex (open stippen) van de bovenliggende wortelzone in relatie tot de hoogte van het maaiveld t.o.v. de drainagebasis in een drietal bodemtypen. Bron: Kemmers en Van Wirdum (1988).

### 3.7 Mineralenrijkdom

Dit is de tweede standplaatsfactor van belang voor de vegetatie. Het gehalte aan uitwisselbare basen van de bodem wordt bepaald door de toevoer van basen via het grondwater, zoals is te zien in figuur 8.

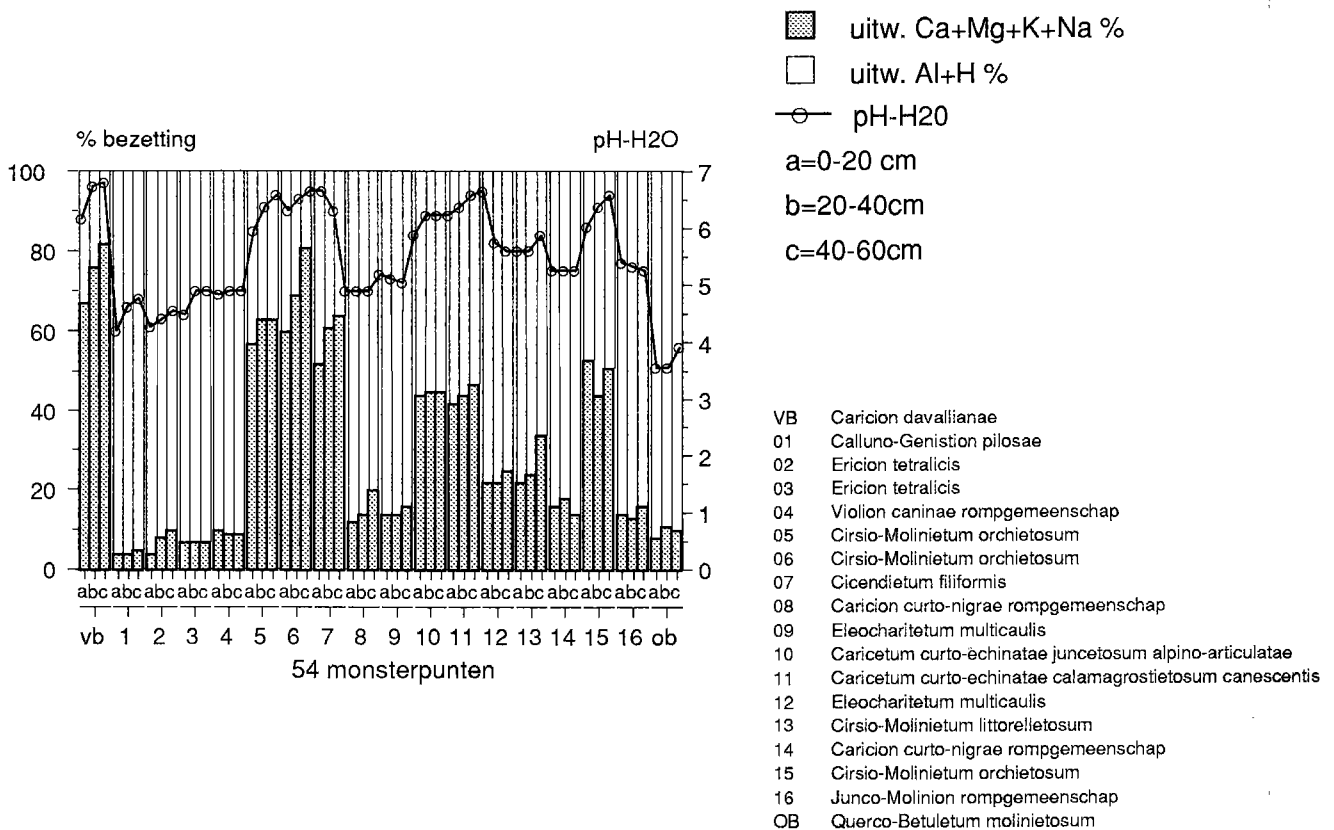
Op de horizontale as staat een aantal bodemtypen en hun hoogteligging, op de verticale assen de calciumbezetting van het bodemcomplex en de Ionic Ratio (IR) van het ter plaatse gemeten grondwater. De IR is het quotiënt van de concentratie calciumionen (in meq.) en de som van de calcium- en chlorideconcentratie (in meq.) en daarmee een maat voor de aanrijking van het grondwater (Van Wirdum, 1980). De relatie tussen ionenrijkdom van het grondwater en de calciumbezetting van de bodem moge duidelijk zijn. In de Beekeerdgrond, die gekenmerkt is door een hoge calciumbezetting, geven kleine verschillen in maaiveldhoogte reeds aanleiding tot belangrijk lagere calciumgehalten. Dit wordt veroorzaakt door de grotere invloed van regenwater door een grotere berging in hogere kopjes.

Uit figuur 9 is de relatie tussen  $\text{pH-H}_2\text{O}$  van de bodem, het gehalte aan uitwisselbare basen in de bodem, en vegetatietypen af te lezen.

Bij een hoog gehalte aan uitwisselbare basen in de bodem neemt de  $\text{pH-H}_2\text{O}$  van de bodem toe. Bij nadere beschouwing blijkt dat in de meeste gevallen de basenbezetting op 0-20 cm (de A-waarden) het laagst is en met de diepte (B = 20-40 cm; C = 60-80 cm) toeneemt. De lage basenbezetting in A wordt veroorzaakt door de uitlogende werking van zuur regenwater. De hoge(re) waarden van C worden veroorzaakt door de invloed van met basen aangerijkt grondwater. Deze basen van het grondwater wisselen uit tegen de  $\text{H}^+$  en  $\text{Al}^{3+}$  ionen van het kationenadsorptiecomplex van de bodem.

Op plaatsen met sterker met ionen aangerijkt grondwater (VB, 5, 6, 7, 10, 11 en 15) is de basenbezetting hoger dan wanneer sprake is van weinig aangerijkt of mineraalarm grondwater (overige punten). De basenbezetting is en blijft extreem laag wanneer sprake is van invloed van zuur en mineraalarm regenwater tot op grotere diepte, zoals in 1, 2, 3 en OB. De variatie in basenrijkdom is gecorreleerd met het voorkomen van vegetatietypen. Gemeenschappen van het Knopbiesverbond (*Caricion davallianae*), het orchideeënrijke Blauwgrasland (*Cirsio-Molinietum orchietosum*), de Draadgentiaanassociatie (*Cicendietum filiformis*) bezitten een hoge tot zeer hoge basenbezetting, die van de natte (*Ericion tetralicis*) en droge heide (*Calluno-Genistion pilosae*), de rompgemeenschappen van de Kleine zeggen (*Caricion curto-nigrae*), de rompgemeenschappen van het heischrale grasland (*Violion caninae*) en de rompgemeenschappen van het Blauwgrasland (*Junco-Molinion*), het vochtige Eiken-Berkenbos (*Querco-Betuletum molinietosum*) en de associatie van Veelstengelige waterbies (*Eleocharitetum multicaulis*) lage tot een zeer lage. De gemeenschappen uit de associatie van Ster- en Zompzegge met Rijnrus (*Caricetum curto-echinatae juncetosum alpino-articulatae*), de associatie van Ster- en Zompzegge met facies van Hennegrass (*Caricetum curto-echinatae calamagrostietum canescentis*), de Associatie van Veelstengelige waterbies (*Eleo-*

charitetum multicaulis) en het Blauwgrasland met soorten van het Oeverkruidverbond (*Cirsio-Molinietum littorelletosum*) bezitten een matig hoge tot hoge basenverzadiging. Genoemde rompgemeenschappen zijn vrijwel alle ontstaan door lichte tot sterke ontwatering. Ontwatering leidt tot een grotere invloed van neerslagwater en daarmee tot daling van de pH en de basenverzadiging. Dat er bij de relatie van de vegetatie tot de ionenrijkdom en zuurgraad van het grondwater niet altijd sprake is van duidelijk begrensde trajecten, maar eerder van een continuüm, blijkt uit figuur 5.



**Figuur 9:** De relatie tussen het gehalte uitwisselbare basen, Al+H (in % van hun gehalten in me/100 gram) en de pH-H<sub>2</sub>O in Punthuizen (NO-Twente).



### 3.8 Trofiegraad

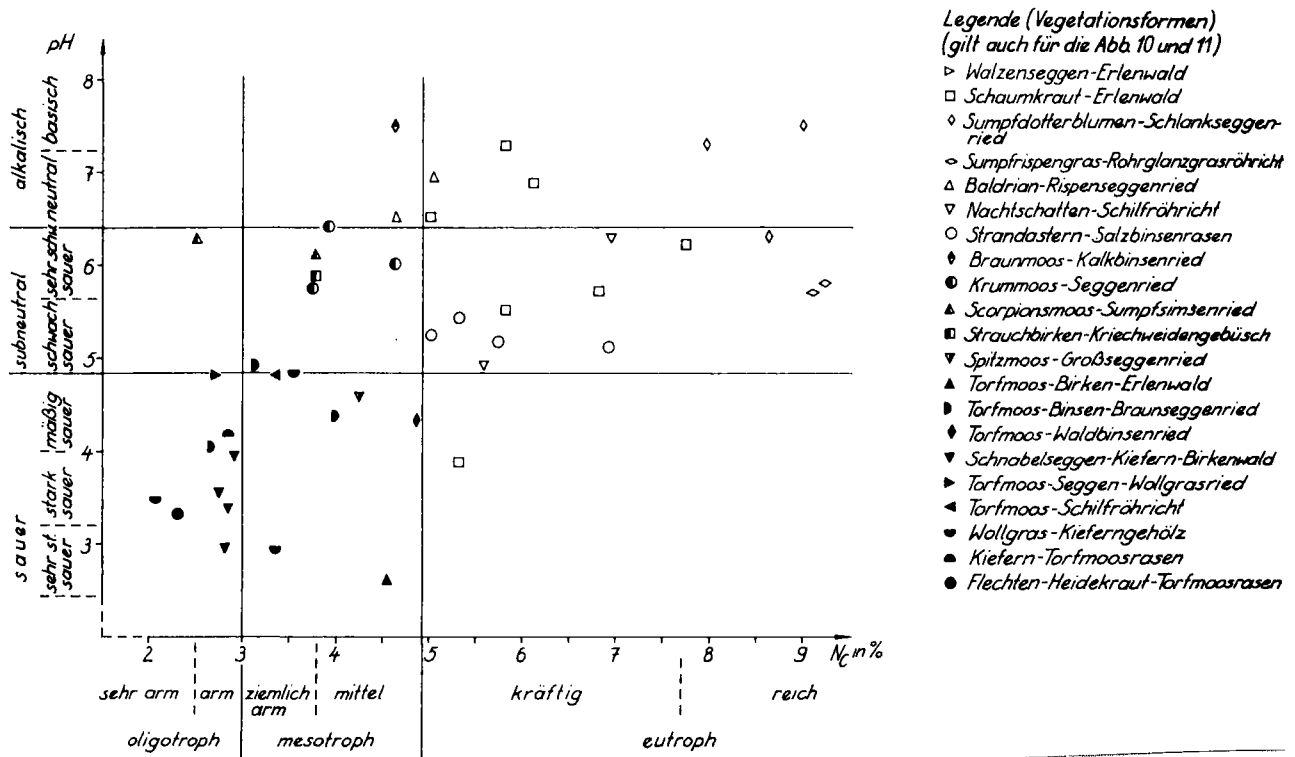
De trofiegraad van een vegetatie wordt in belangrijke mate bepaald door de waterstanden en de pH/basenverzadiging van de standplaats. Uit onderzoek van Kemmers (1990) is gebleken dat bij  $\text{pH} > 7$  de fosfaatconcentratie van het bodemvocht wordt gebufferd door een hoge calciumverzadiging van het adsorptiecomplex. De aanwezige fosfor wordt geadsorbeerd aan het bodemcomplex of vormt slecht oplosbare calciumfosfaatzouten. Bij  $\text{pH} < 7$  bindt ijzer het fosfaat (Wassen, 1990). De mate van calcium- en ijzerverzadiging van het bodemcomplex wordt in grondwaterafhankelijke vegetaties bepaald en in stand gehouden door de calcium- en ijzerrijkdom van het grondwater. Het voert te ver de daarbij optredende processen te bespreken (zie Kemmers en Jansen, 1985).

Hoge waterstanden voorkomen mineralisatie van organisch materiaal en daarmee beschikbaar komen van stikstof uit dit materiaal. Onder gelijke vochtcondities bepaalt de pH in belangrijke mate de trofiegraad (zie Kemmers, 1990)<sup>7</sup>. Bij een lage pH is de totale hoeveelheid stikstof lager dan bij een hoge pH, zoals ook blijkt uit figuur 10.

In deze figuur is voor door de mens weinig beïnvloede plantengemeenschappen op de verticale as de pH van de bodem uitgezet tegen het stikstofgehalte van de bodem ( $N_C\%$ : het quotiënt van het stikstofgehalte en het elementaire koolstofgehalte x 100%). Uit de figuur is af te lezen dat oligotrofe (= voedselarme) omstandigheden voornamelijk voorkomen in het zure traject, mesotrofe (=matig voedselrijke) omstandigheden in het zure en subneutrale (= zwak zure) traject en eutrofe (voedselrijke) omstandigheden in het subneutrale en alkalische (= basische) traject van de pH. In de figuur is tevens te zien dat de vegetatietypen een correlatie vertonen met de trofiegraad. Bij lichte ontwatering verdwijnen de vegetatietypen van oorspronkelijke zwak zure, mesotrofe en alkalische, voedselarme milieus om plaats te maken voor zure, voedselarme of matig voedselrijke milieus. Vindt na deze ontwatering ook bemesting plaats dan ontstaan zwak zure en alkalische, voedselrijke condities. De zwak zure, matig voedselrijke en alkalische, voedselarme milieus en de daarvoor kenmerkende plantengemeenschappen behoren in Nederland dan ook tot de meest bedreigde en zeldzame.

In figuur 5 is de relatie tussen pH en trofiegraad eveneens af te lezen. In de onderste balk van de figuur is de trofiegraad opgenomen als C/N-quotiënt (koolstofgehalte van de organische stof gedeeld door stikstofgehalte van de organische stof). Hoe hoger C/N is, hoe lager het relatieve stikstofgehalte, dus hoe voedselarmer het milieu. Heidegemeenschappen (de eerste vijf vegetatietypen) zijn gebonden aan lage pH's en voedselarme tot enigszins matig voedselrijke condities. Het Caricion davallianae en het Caricion curto-nigrae komen voor onder zwak zure tot bijna alkalische, mesotrofe omstandigheden. Het Caricion davallianae neigt weer naar enigszins oligotrofe condities.

<sup>7</sup> Bij gelijke vochtigheidscondities wordt de trofiegraad naast de pH ook door samenstelling van het organisch materiaal bepaald. Zo is de mineralisatie van veenmosveen groter dan die van zegge- of rietzeggeveen.



Figuur 10: Relatie tussen de pH en het stikstofgehalte ( $N_c$ ) van bodemonsters voor enkele vegetatietypen van niet ontwaterde venen in Midden-Europa. Bron: Süccow (1988).

## 4. AKTIVITEITEN IN HET SPEURWERKPROJECT

Nu we over kennis beschikken van de belangrijkste standplaatsfactoren en hun relatie met de vegetatie, kunnen we overstappen van de meer theoretische aspecten naar de praktijk van het onderzoek. In het onderstaande zullen enkele onderdelen van de tot op heden uitgevoerde activiteiten gepresenteerd worden.

### 4.1 Proeflokatie

Om te komen tot een ecologische effectvoorspellingsmethode is het noodzakelijk zo concreet mogelijk materiaal ter beschikking te hebben. Dit materiaal wordt verzameld op een proeflokatie. Dit is de omgeving van Denekamp in Noordoost-Twente (zie figuur 11). In het begin van het speurwerkproject hebben diverse waterleidingbedrijven een proeflokatie aangeboden. Op grond van de volgende criteria is de keuze op Denekamp gevallen:

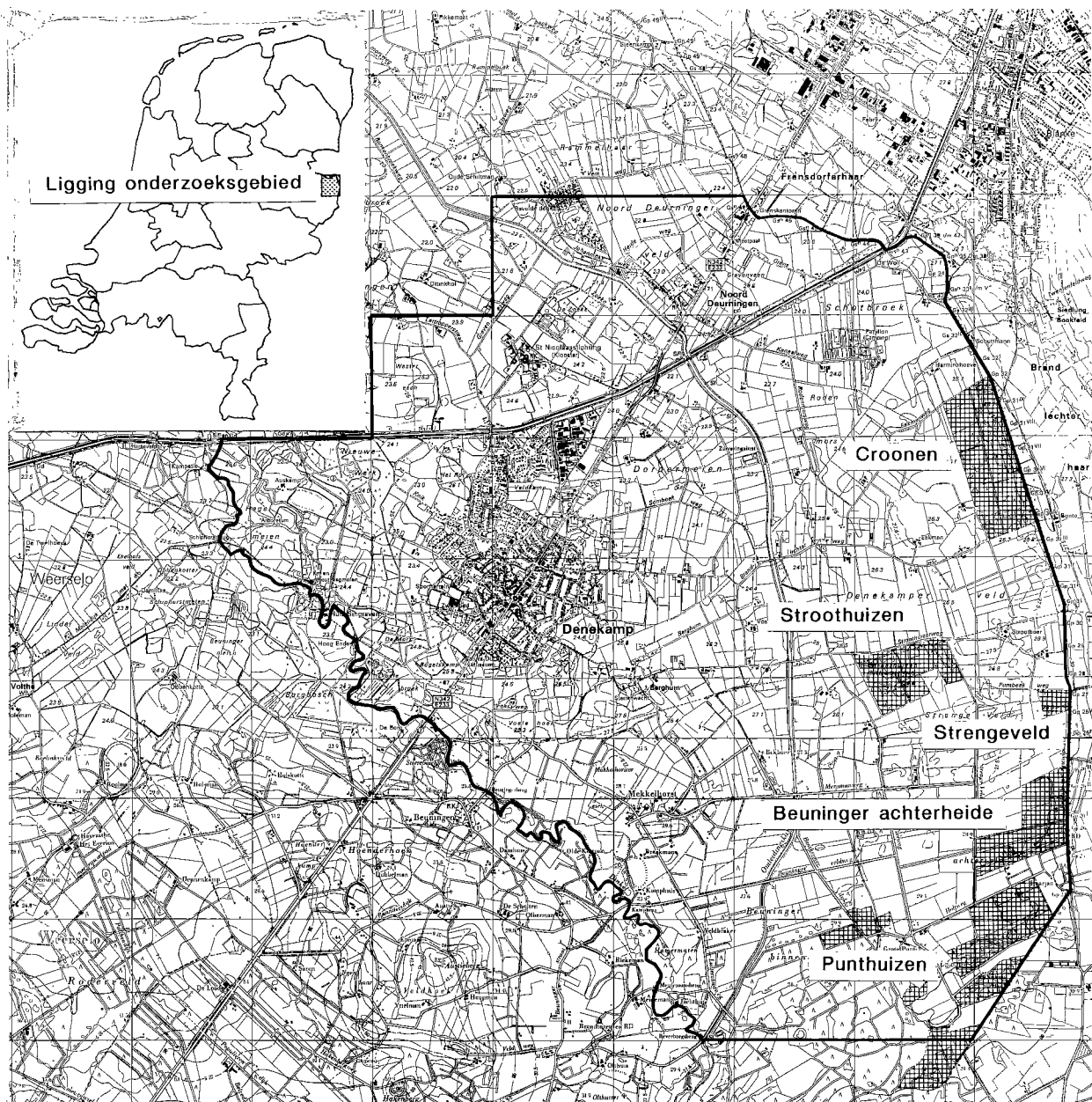
- Blankosituatie: Er is momenteel in de proeflokatie nog geen waterwinning aanwezig. In dat opzicht is de hydrologische situatie dus nog ongestoord. In het begin van de jaren zestig heeft weliswaar een ingrijpende ruilverkaveling plaatsgehad, maar naar mag worden aangenomen is daarna een nieuwe hydrologische steady-state ontstaan. In het geval van uitbreiding van een reeds bestaande winning ontstaat een veel complexere situatie bij de effectvoorspelling dan wanneer sprake is van een blanco.
- Representativiteit: Er is een groot aantal grondwaterafhankelijke plantengemeenschappen aanwezig, die gevoelig zijn voor de effecten van grondwaterwinning en die ook elders regelmatig in het Pleistoceen voorkomen.
- Samenwerking: De Waterleidingmaatschappij Overijssel (WMO) is voornemens vergunning aan te vragen voor de winning van 1 tot 1,5 miljoen m<sup>3</sup> grondwater per jaar. Om deze reden participeert de WMO in dit speurwerkproject en kunnen na de start van de vergunning de voorspelde effecten getoetst worden met een monitoringprogramma.

## 4.2 De vegetatie- en soortverspreidingskartering

De eerste stap in een effectvoorspelling is de inventarisatie van de actuele vegetatie- en soortensamenstelling van een gebied. Als men deze niet of onvoldoende kent, kan men natuurlijk niet voorspellen wat de ecologische effecten van een ingreep in de waterhuishouding zijn en in hoeverre de vegetatie daardoor geschaad wordt. Tevens geven een vlakdekkende vegetatiekaart en soortverspreidingspatronen een belangrijke indicatie van de abiotische omstandigheden.

De vegetatie van het cultuurland en -in opdracht van Staatsbosbeheer- de natuurreervaten (zie figuur 11), zijn vlakdekkend gekarteerd (Croese, 1990). Tevens is het voorkomen en de hoeveelheid van voorkomen van zogenaamde aandachtssoorten met een vijfdelige schaal vlakdekkend in kaart gebracht.

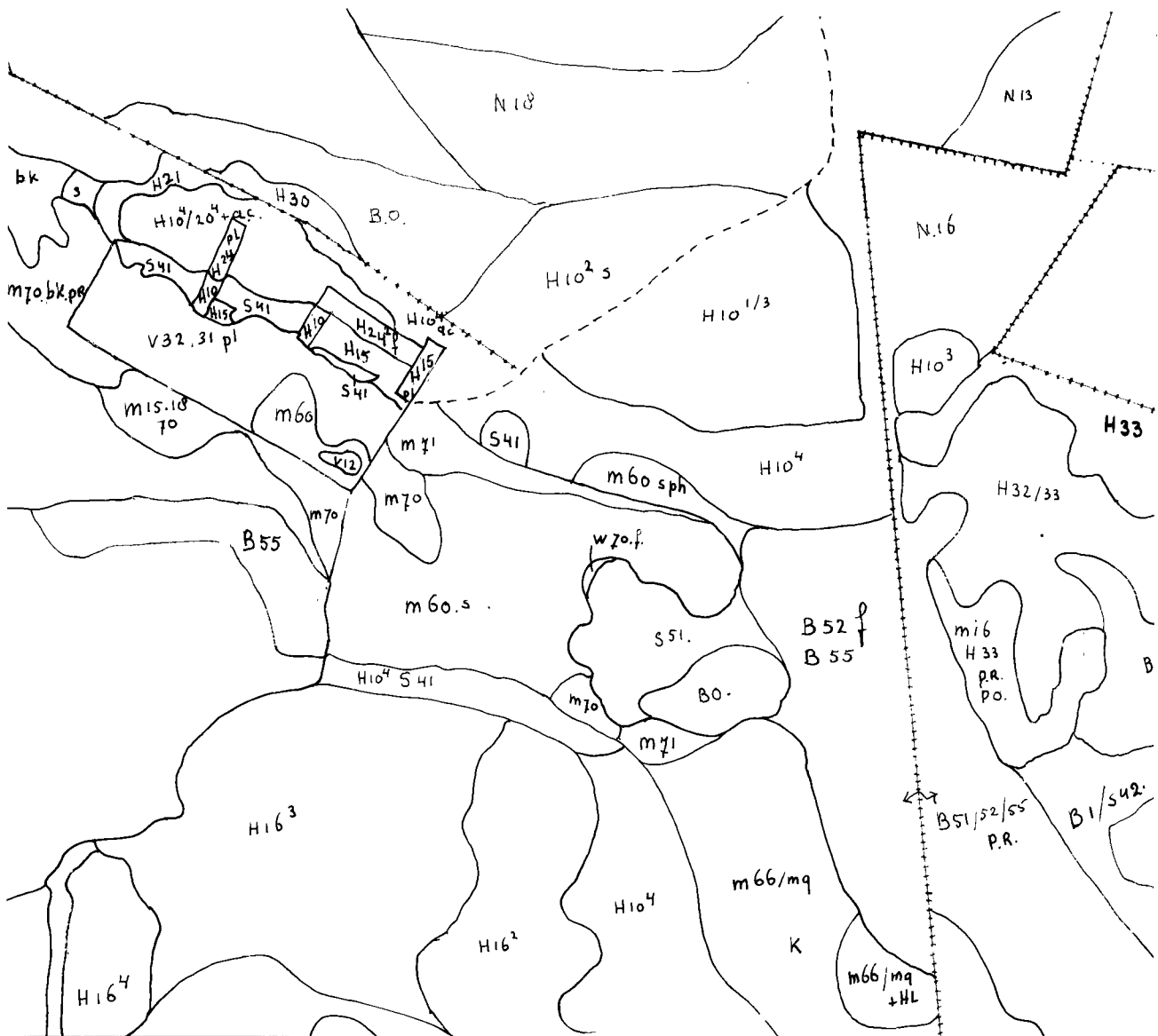
De reservaten en het cultuurland zijn respectievelijk op een schaal van 1:1000 en 1:5000 gekarteerd. De kartering heeft plaatsgevonden met een van tevoren opgestelde vegetatietypologie. Dit is een lijst van vegetatietypen met codes, zoals die op de kaart gebruikt zijn. Van elk vegetatietype zijn de karakteristieke soorten, waaraan het desbetreffende type in het veld te herkennen is, opgenomen (zie figuur 12). De typologie is hiërarchisch. Er is een aantal hoofdgroepen onderscheiden op basis van de vegetatiestructuur, bijvoorbeeld naaldbos, loofbos, heiden, moerassen e.d. Binnen deze hoofdgroepen zijn subgroepen, typen en subtypen onderscheiden. De in de typologie onderscheiden typen kunnen herleid worden tot door Westhoff en Den Held (1975) onderscheiden eenheden. In figuur 13 staat een deel van de vegetatiekaart van het Staatsbosbeheerreservaat Stroothuizen. Deze kaart geeft allereerst een indruk van de verspreiding van vegetatietypen. Wat ook opvalt is de verscheidenheid aan typen op een klein oppervlak.



**Figuur 11:** Het onderzoeksgebied Denekamp met daarin de ligging van de natuureservaten.

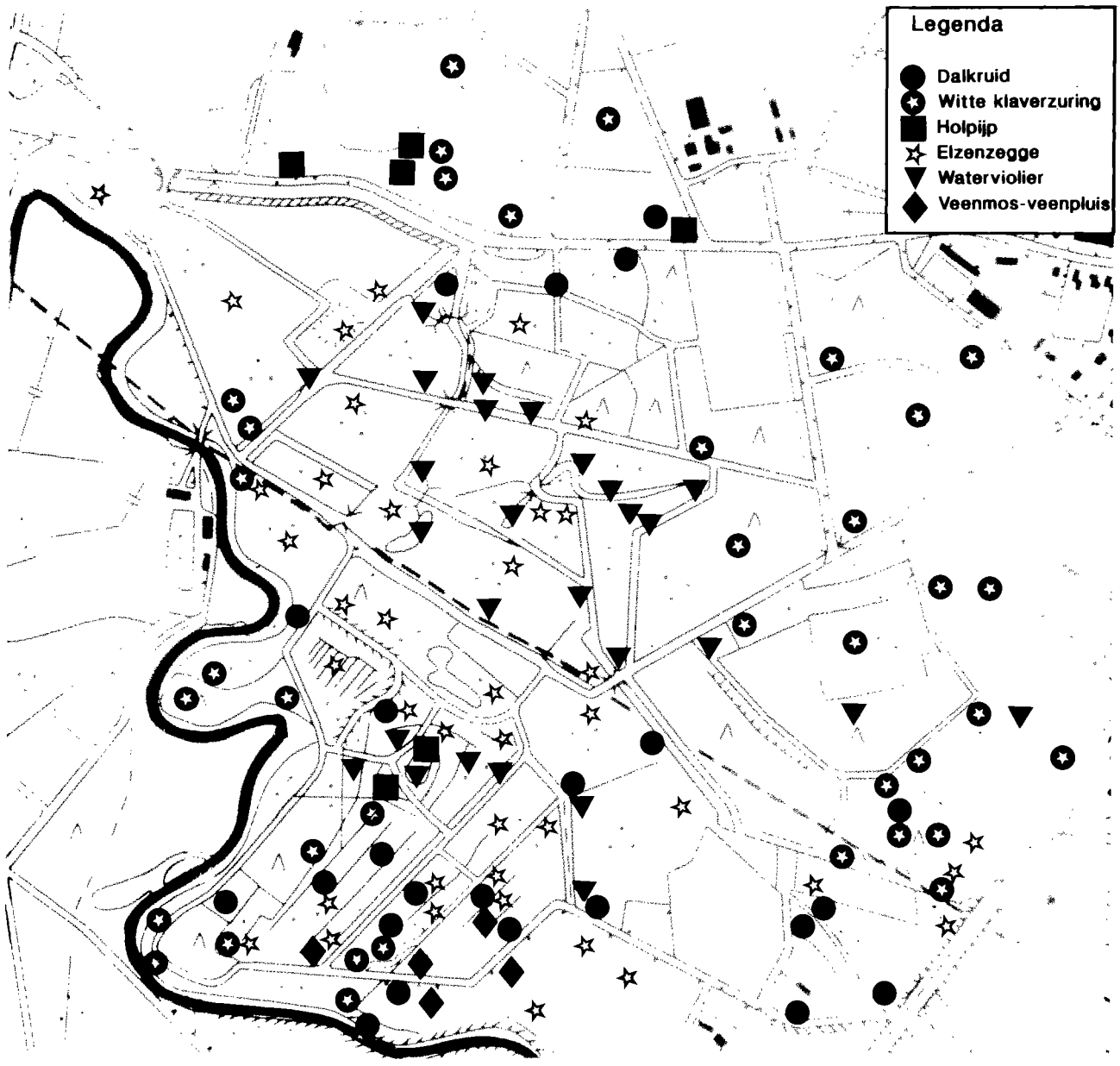
<u>HEIDEN</u>		
Dopheide	<u>Typicum</u>	<u>H10</u>
Pijpeestootje	Blauwzegge	
Veenbies	Sph. cuspidatum	
Trekrus	Sph. papillosum	
Tormentil	Sph. tenellum	
	Sph. compactum	
	Sph. denticulatum	
	<u>Sph. molle</u>	<u>H11</u>
	Veenpluis	
	Witte snavelbies	
	<u>Beenbreek</u>	<u>H12</u>
	Beenbreek	
	<u>Kruipwilg</u>	<u>H13</u>
	<u>Klokjesgentiaan</u>	<u>H14</u>
	Witte snavelbies	
	Bruine snavelbies	
	Kleine zonnedaauw	
	Rondezonnedaauw	
	(Beenbreek)	
	<u>(Moeraswolfsklauw)</u>	<u>H15</u>
	Bochtige smele	
	Cladonia species	
	<u>Struikheide</u>	<u>H16</u>
Struikheide	<u>typicum</u>	<u>H20</u>
Bochtige smele	<u>Dopheide</u>	<u>H21</u>
Schapegras	<u>Dopheide &gt; 50 %</u>	<u>H22</u>
Pilzegge	Kruipbrem	
	<u>Stekelbrem</u>	<u>H23</u>
	Tandjesgras	
	Schapezuring	
	Borstelgras	
	<u>Tormentil</u>	<u>H24</u>
	Dopheide	
	Pijpeestootje	
	Veenbies	
	<u>Trekrus</u>	<u>H25</u>
	<u>Cladonia spec</u>	<u>H27</u>
	<u>Dopheide</u>	<u>H28</u>
Pijpeestootje (dom.)	<u>niet horsten vormend</u>	<u>H30</u>
	<u>horstenvormend</u>	<u>H31</u>
	<u>Veenpluis</u>	<u>H32</u>
	Veenpluis	
	Sph. papillosum	
	Sph. cuspidatum	
	<u>Sph. recurvum</u>	<u>H33</u>
	<u>Bruine/witte snavelbies</u>	<u>H34</u>
	Struikheide	
	<u>Bochtigesmele</u>	<u>H38</u>

**Figuur 12:** Een deel van de tijdens de kartering gebruikte vegetatietypologie (zie Croese, 1990).



**Figuur 13:** Een deel van de vegetatiekaart van Stroothuizen; schaal 1:1000.

In figuur 14 staan de verspreidingspatronen van een aantal plantesoorten in een deel van het landgoed Singraven. In de figuur is te zien dat de verspreiding van deze soorten volgens karakteristieke patronen verloopt. Uit deze patronen zijn de standplaatsfactoren af te leiden en wordt dus informatie over het ter plekke heersende abiotische milieu verkregen. Witte klaverzuring en Dalkruid komen langs de randen voor. Waterviolier is beperkt tot de kern van het gebied. Holpijp is alleen aanwezig aan de noordoostzijde en neemt daar een positie in tussen Witte klaverzuring/Dalkruid en Waterviolier. Elzenzegge komt overal voor waar Dalkruid en Witte klaverzuring niet aanwezig zijn. Veenpluis en Veenmossen komen slechts voor in één vlak. Wanneer we de indicatiewaarden van deze soorten over de standplaatsfactor waterstand in beschouwing nemen, dan blijkt een nat-droog gradiënt in het gebied aanwezig te zijn.



**Figuur 14:** *Verspreiding van enkele plantesoorten in een deel van Singraven; schaal 1:5000.*

Waterviolier, Holpijp, Veenpluis en Veenmossen komen op de natte plekken voor; Elzenzegge op de vochtige en natte plekken en Witte klaverzuring en Dalkruid op de droge plekken. Het voorkomen van de twee laatste soorten langs de Dinkel duidt op droge omstandigheden. De verspreiding van de soorten illustreert de aanwezigheid van een hoge oeverwal langs de Dinkel en het komvormige karakter van het gebied als totaal. Wanneer we vervolgens de indicatiewaarden van deze soorten voor basenrijkdom en trofiegraad hanteren, wordt een nog completer beeld verkregen. De drogere gebieden zijn zwak zuur en mesotroof, de vochtige en natte gebieden zijn zwak zuur tot neutraal en eutroof. Hiervan moet de plaats waar Veenpluis en Veenmossen groeien wor-

den uitgezonderd. Deze soorten zijn karakteristiek voor zure, in dit geval mesotrofe omstandigheden, want ze komen volgens de vegetatiekaart voor in Elzenbroekbossen. Uit dit laatste kan worden afgeleid dat in het Elzenbroek door ontwatering of door een gebrekkige afvoer, veroorzaakt door opstuwning van regenwater tegen de oeverwal, een oppervlakkig gelegen neerslaglens is ontstaan. De positie van Holpijp op de overgang van hoog naar laag wordt verklaard uit zijn indicatie voor lateraal, ondiep stromend grondwater.



Figuur 15: Verspreiding van roestverschijnselen in een deel van Singraven; schaal 1:5000.



Met de indicatiewaarden van soorten is nu een eerste idee ontstaan over het abiotisch milieu. Wanneer deze eerste interpretatie nu wordt vergeleken met gemeten waarden van abiotische variabelen, kan worden nagegaan of de inzichten vanuit de vegetatie en de abiotiek met elkaar overeenstemmen. Vervolgens kan worden nagegaan welke processen daaraan ten grondslag liggen. In figuur 15 is het voorkomen van roestverschijnselen in het oppervlaktewater, zoals gevonden tijdens de vegetatiekartering, vastgelegd. Vergelijking met de soortpatronen geeft direct het inzicht dat Waterviolier gecorreleerd is met deze roestverschijnselen. Aangezien de waargenomen roestverschijnselen een uiting zijn van uittredend baserijk grondwater, kan gesteld worden dat de natte, baserijke standplaatsomstandigheden van Waterviolier hier veroorzaakt en in stand worden gehouden door verticale toestroming (kwel) van baserijk grondwater. Wanneer blijkt dat door een ingreep in de waterhuishouding de intensiteit van deze waterstroom afneemt, en zeker wanneer deze omslaat in infiltratie, dan kan worden aangenomen dat Waterviolier zal verdwijnen.

### 4.3 Grond- en oppervlaktewater

Door de WMO (Afdeling Onderzoek, 1988) is een regionale modelstudie voor Denekamp en omgeving uitgevoerd. In de natuurreserveaten is een hydrologisch meetnet geïnstalleerd. Dit meetnet heeft twee doelen (Jansen en Maas, 1989):

- het verzamelen van aanvullende geohydrologische en geohydrochemische gegevens voor een hydrologische systeemanalyse op de schaal van een reservaat
- het verzamelen van gegevens over waterstanden en chemische watersamenstelling om de standplaatsfactoren van voor verdroging gevoelige vegetatietypen (beter) te leren kennen

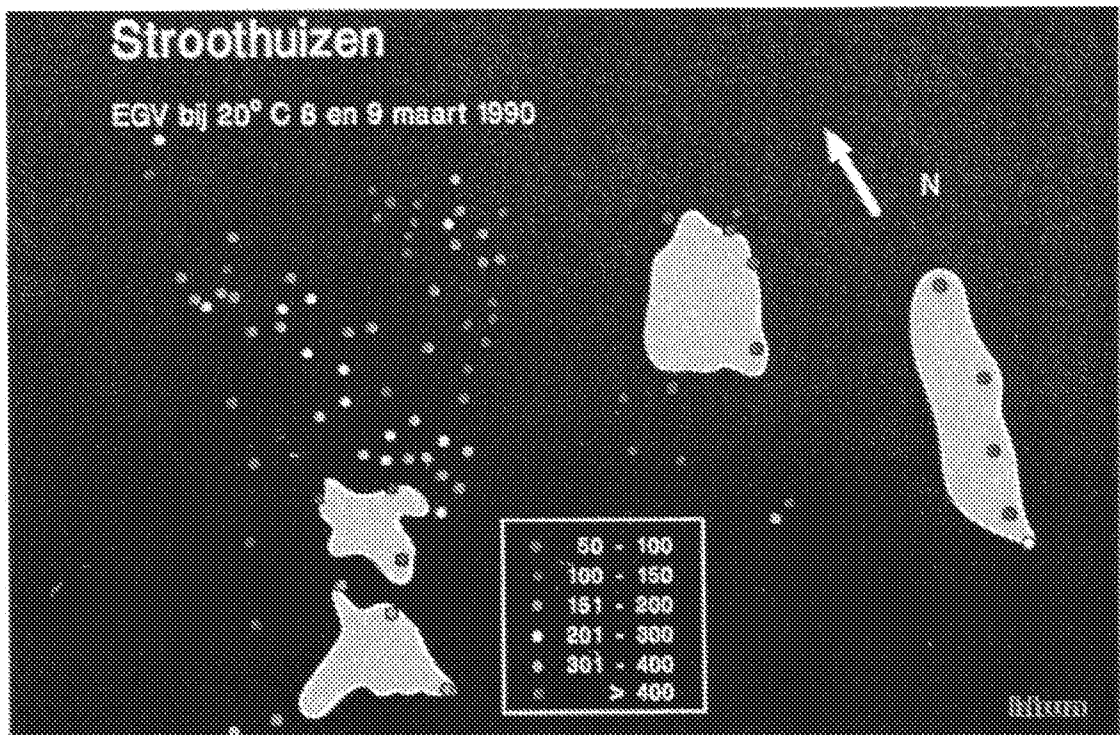
In onderstaande zullen twee voorbeelden van de uitkomsten van het hydrologisch meetnet gepresenteerd worden.

Op 23 april 1990 zijn de onder water staande delen van Stroothuizen bemonsterd. Zie figuur 16 voor de resultaten van deze bemonstering voor wat betreft het Elektrisch Geleidingsvermogen (EGV) bij 20°C. Het oppervlaktewater in de twee vennen aan de oostzijde van het terrein heeft een EGV overeenkomstig met die van regenwater. De vennen aan de zuidwestzijde van het terrein hebben EGV's die staan voor enigzins aangerijkt grondwater, hoewel er in het noordelijke ven ook EGV's zijn die duiden op voeding door regenwater. In de natte heidevegetatie rondom de slenk zien we EGV's karakteristiek voor regenwater en enigzins aangerijkt grondwater. In de slenk gaande van ZO naar NW zien we een gradiënt in EGV's. Eerst neemt het EGV toe om vervolgens geleidelijk weer te dalen. De toename van het EGV wordt veroorzaakt door de steeds grotere invloed van verticaal uittredend baserijk grondwater door afname van de maaiveldhoogte. De na de toename optredende afname in EGV wordt veroorzaakt door een grotere invloed van regenwater en zijdelings toestromend enigzins aangerijkt grondwater. Deze vergrote invloed is het gevolg van de ontwaterende werking van de aan de westzijde gelegen diepe landbouwsloot. Deze trekt het baserijke grondwater aan, waardoor in de omgeving van deze sloot de stijghoogte van het basen-

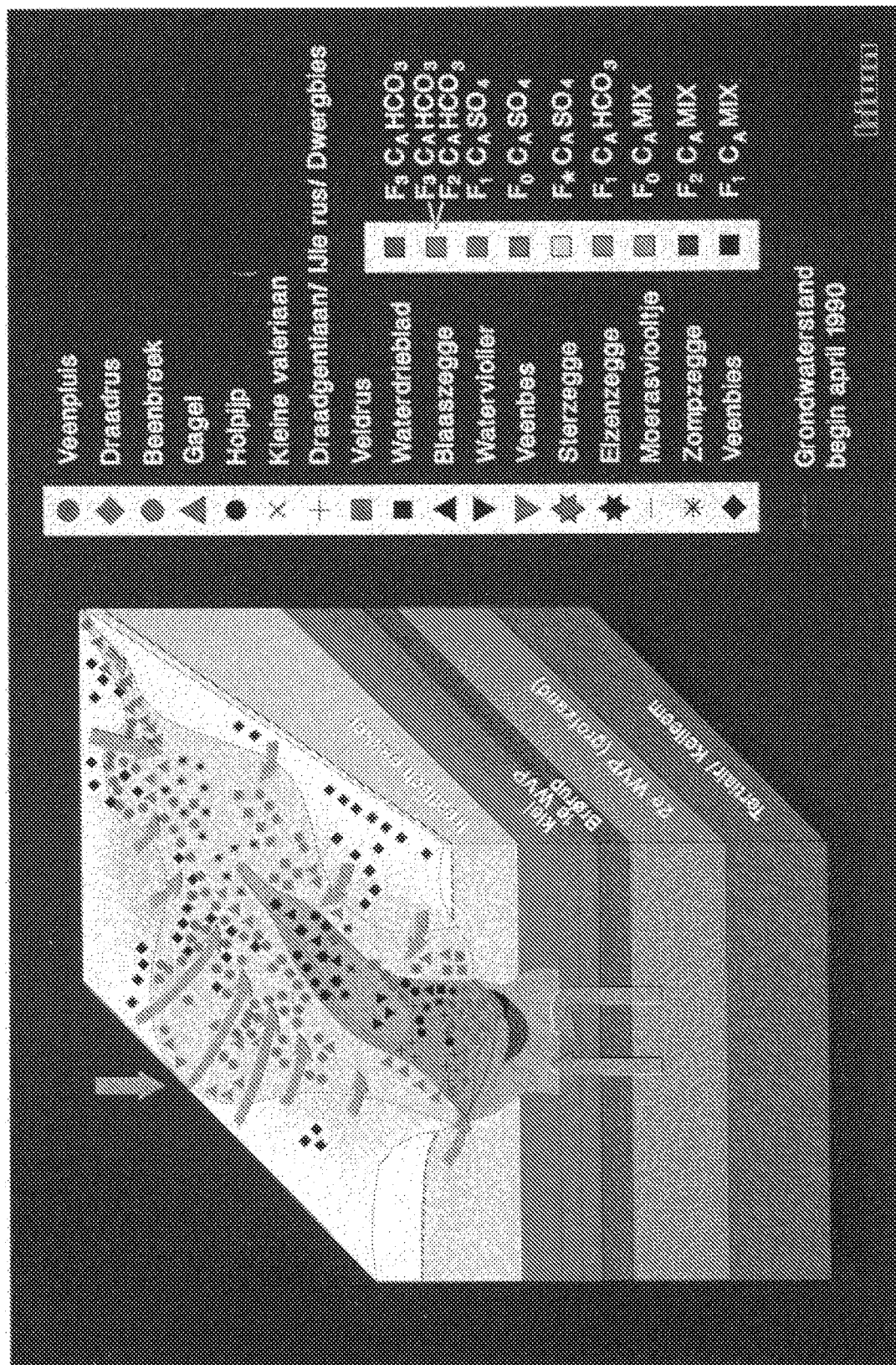




Figuur 2: Ruimtelijke verspreiding van vegetatietypen in de Lemseleermaten.



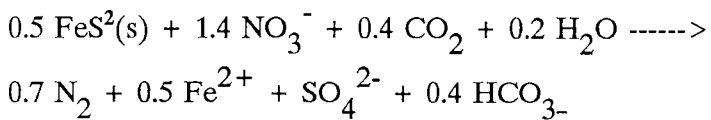
Figuur 16: Het elektrisch geleidingsvermogen (EGV) van het oppervlaktewater in Stroothuizen in het vroege voorjaar van 1990.



Figuur 18: Driedimensionale weergave van de veronderstelde relatie tussen vegetatie en waterhuishouding in het noordwestelijke deel van Stroothuizen. De pijlen geven de veronderstelde richting van de (grond)waterstroming aan.

rijke grondwater daalt. Daardoor nemen regenwater en uit de omliggende heide lateraal toestromend weinig aangerijkt regenwater de plaats in van het basenrijke grondwater. Er ontstaat als het ware een deken van basenarm bovenop basenrijk water. Deze gelaagdheid in watersamenstelling wordt bevestigd door de gevonden waarden van het grondwater in de peilbuizen. De hoge EGV van slootwater aan de zuidzijde temidden van lage waarden wordt veroorzaakt door intensieve bemesting van het achterliggende cultuurland (65 mg/l  $\text{Cl}^-$  en 56 mg/l  $\text{K}^+$ ).

Deze bemestingsinvloed is ook merkbaar in het diepere grondwater, zoals blijkt uit de analyse van watermonsters uit minifilters (zie figuur 17). In deze figuur zijn de concentraties van ijzer, calcium, sulfaat en nitraat uitgezet tegen de diepte en de geohydrologische opbouw. In het tweede en eerste watervoerende pakket komt geen nitraat voor. In het freatisch pakket daarentegen stijgen de nitraatconcentraties snel. Deze toename gaat gepaard met een daling van de sulfaat- en ijzerconcentratie. Deze correlatie kan verklaard worden doordat in met meststoffen vervuild inzijsend regenwater nitraat als oxydator van pyriet optreedt (Stuyfzand et al, 1988):



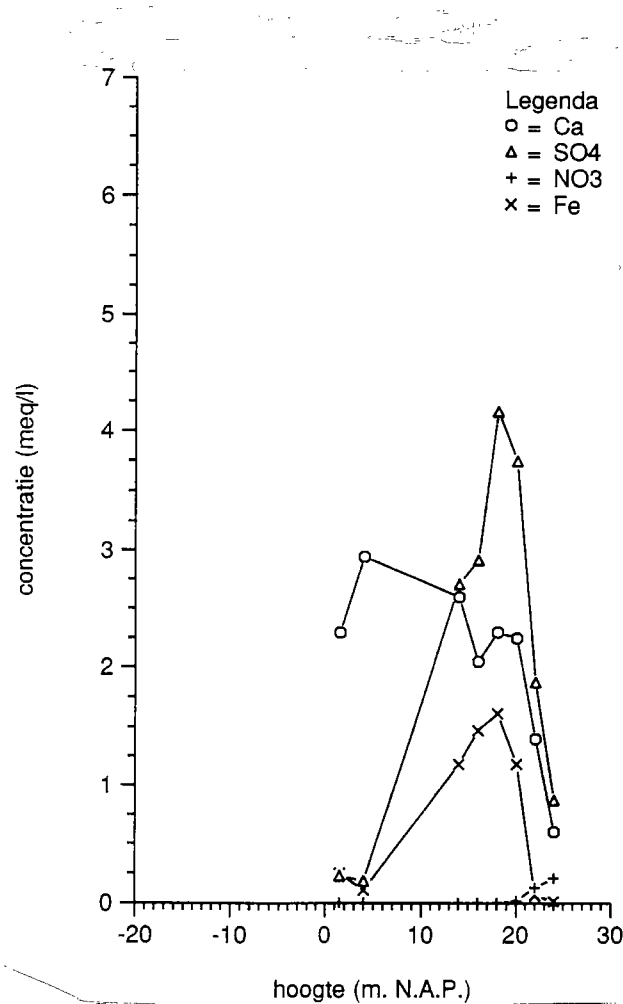
De ijzer- en sulfaatgehalten zullen bij het optreden van deze reactie hoger liggen dan die van ongestoord grondwater en zullen met de diepte toenemen. Uit de tegelijkertijd met de hoge sulfaatgehalten optredende hoge calciumconcentraties is op te maken dat er vertering van calciëten/of uitwisseling van  $\text{H}^+$  aan het adsorptiecomplex optreedt. Het gevolg is waterverharding en het ontstaan van  $\text{CaSO}_4$ -watertypen. De invloed van bemesting gaat dus verder dan alleen het optreden van hogere nitraatwaarden. De mogelijkheden tot herstel van de oorspronkelijke waterhuishouding of het nemen van maatregelen om de eventuele effecten van een grondwaterwinning te compenseren kunnen bemoeilijkt c.q. beperkt worden door geschetste veranderingen in de chemische watersamenstelling van het grondwater uit het freatische pakket. Vroeger kwelde jong, zwak zuur grondwater op in de laagste delen in het zuiden van het reservaat. De terreinbeheerder staat voor het dilemma van te lage zomergrondwaterstanden of voldoende hoge standen van geëutrofiëerd dan wel verhard grondwater. Beide hebben een negatieve invloed op de herstelmogelijkheden van de oorspronkelijke vegetatie.

Vanwege het experimentele karakter van het opstellen van een lokale hydrologische systeemanalyse is het reservaat Stroothuizen als eerste uitgewerkt. (Jansen en Aggenbach, 1990). Uit deze studie blijkt dat het uitvoeren van een hydrologische systeemanalyse op reservaatsschaal goed mogelijk is. Het is in het bestek van dit artikel onmogelijk uitgebreid in te gaan op werkwijze en resultaten.

#### 4.4 Synthese

De volgende stap is de integratie van de abiotische en biotische gegevens en inzichten, waarbij de relatie tussen geologie, geomorfologie, geohydrologie, geohydrochemie en vegetatie geanalyseerd wordt. De resultaten van zo'n analyse worden meestal weergegeven in een twee- of driedimensio-

nale figuur (zie figuur 18). In deze figuur staan de mogelijk aanwezige grondwaterstromingen (processen) die verondersteld worden verantwoordelijk te zijn voor de vegetatiekundige variatie. De veronderstelde grondwaterstromingen zijn afgeleid uit de indicatiewaarden voor waterstanden en waterkwaliteit van soorten en de chemische samenstelling van het grondwater. Het is vervolgens aan de geohydrologen de existentie van deze veronderstelde grondwaterstromen te toetsen met een grondwatermodel. Dit kan dan leiden tot het formuleren van nieuw geohydrologisch onderzoek of tot bijstelling van de hypothese.



**Figuur 17:** De concentraties van  $Ca^{2+}$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $NO_3^-$  en  $Fe_2^+$  in minifilters in bus 89P41 in Stroothuizen op 2 maart 1990.

Uit figuur 18 blijkt dat drie grondwaterstromen verantwoordelijk geacht worden te zijn voor de in het noordwestelijke deel van Stroothuizen aanwezige vegetatiekundige variatie. In de vochtige en

natte infiltratiegebieden is dat regenwater. In de winter treedt recent geïnfiltreerd regenwater (F\*-CaSO<sub>4</sub>-type) op de flanken uit. Dit water stroomt zijdelings naar de laagste delen. In de laagste delen kwelt F2-CaHCO<sub>3</sub>-water op. Dit water wordt vanwege de overeenkomstige chemische samenstelling geacht uit het tweede watervoerende pakket afkomstig te zijn. Aan de noordwestzijde van het gebied bereikt dit water het maaiveld niet meer. Er ligt daar een 80-120 cm dikke laag van achtereenvolgens F0-CaMIX (boven maaiveld), F1-CaHCO<sub>3</sub>, F1-CaSO<sub>4</sub>, F1-CaMIX en F2-CaMIX voordat weer F2-CaHCO<sub>3</sub>-water wordt aangetroffen. Dit kan als volgt geïnterpreteerd worden: Het F2-CaHCO<sub>3</sub>-water uit het tweede watervoerende pakket stroomt hier in de richting van de langs het reservaat gelegen diepe ontwateringssloot (niet in figuur), waardoor het nauwelijks meer in het maaiveld van de slenk, maar hoofdzakelijk in de sloot uittreedt. De drainagebasis in dit deel van de slenk is dus verlaagd. De ontstane onverzadigde zone wordt in neerslagrijke perioden opgevuld met neerslagwater en zijdelings toestromend recent geïnfiltreerd, weinig verrijkt grondwater. Op iets grotere diepte treedt menging c.q. verdunning op van dit water met het F2-CaHCO<sub>3</sub>-water. Dit uit zich in een met de diepte toenemende alkaliteit/hardheid (van F0 via F1 naar F2) en de overgang van MIX-typen naar het door bicarbonaat gedomineerde type.

Uit de figuur blijkt eveneens een correlatie tussen de verspreiding van soorten en de gemeten chemische samenstelling van het grond- en oppervlaktewater. Veenpluis, Beenbreek, Gagel, Veldrus, Veenbies, Veenbes en Moerasviooltje komen voor op zachte, regenwaterachtige watertypen: F\*CaSO<sub>4</sub> en F0CaMIX. Holpijp, Sterzegge, Draadrus, Waterdrieblad en Draadgentiaan/IJlerus/Dwergbies zijn beperkt tot het F0-CaMIX-type, oftewel tot die plaatsen waar een duidelijke gelaagdheid in de watersamenstelling is te constateren. Elzenzegge, Blaaszegge, Kleine Valeriaan en Waterviolier komen overwegend voor op plaatsen met F2-CaHCO<sub>3</sub>-water. De twee eerst genoemde soorten echter ook op lokaties met een gelaagde watersamenstelling. Beenbreek, Gagel, Veldrus en Holpijp zijn indicatief geacht voor laterale grondwaterstroming.

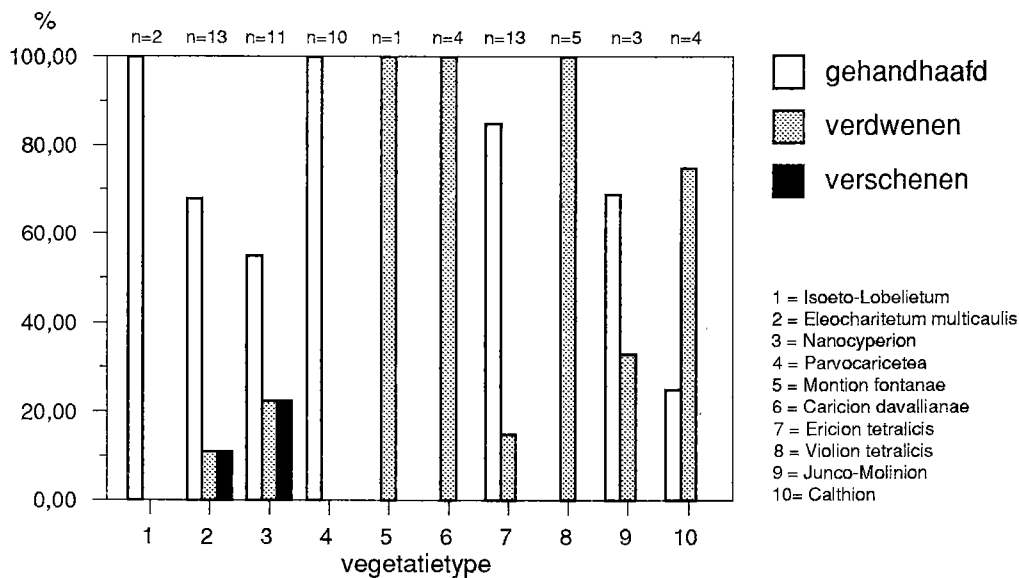
#### 4.5 Reconstructie

Bij een reconstructie worden op basis van beschikbare gegevens de vegetatie en flora beschreven van de periode vóór de grote hydrologische ingrepen door de mens. Deze beschrijving is in het kader van de ecologische effectvoorspelling om twee redenen relevant. Ten eerste om de toestand van de actuele vegetatie en flora van een gebied te kunnen begrijpen. Deze kan vaak niet goed worden begrepen als geen inzicht bestaat in de weinig gestoorde uitgangstoestand. Wanneer de huidige en de uitgangstoestand met elkaar vergeleken worden, kan de ontwikkeling in de tijd begrepen worden. De tweede reden van het belang van een reconstructie is, dat de effecten van andere ingrepen in de waterhuishouding dan die van een grondwaterwinning geschat kunnen worden. Bij de voorspelling van de effecten van een grondwaterwinning kunnen die effecten dan buiten beschouwing gelaten worden. Daardoor wordt een overschatting van de effecten van een grondwaterwinning voorkomen.

De bij een reconstructie te volgen werkwijze is als volgt. Eerst worden de oorspronkelijke vegetatie en flora beschreven. Vervolgens worden eventuele veranderingen vastgesteld door een vergelijking van de actuele en oorspronkelijke flora en vegetatie. Dan kan overgegaan worden tot het recon-

struieren van de voormalige ruimtelijke relaties tussen abiotische omstandigheden en vegetatie en flora via kennis van de standplaatseisen van plantengemeenschappen en soorten. De volgende stap is het formuleren van hypothesen over vroeger werkzame hydrologische processen. Omdat van de actuele situatie reeds een hydro-ecologische analyse bestaat, kunnen de vroeger en thans optredende hydrologische processen met elkaar vergeleken worden. Dan zal zichtbaar worden wat veranderd is door ingrepen in de waterhuishouding die in het verleden al zijn uitgevoerd.

De reconstructie van het onderzoeksgebied is nog niet gereed. Wel zijn reeds de historische en actuele flora en van Stroothuizen (Westhoff en Jansen, 1990; Jansen en Aggenbach, 1990) met elkaar vergeleken. Deze vergelijking is beperkt tot soorten, die tijdens onze kartering van het onderzoeksgebied zijn aangemerkt als zogenaamde aandachtsoorten. Deze soorten hebben goed omschreven indicatieve waarde voor de eerder beschreven standplaatsfactoren. In figuur 19 zijn deze aandachtsoorten toegedeeld aan op verbonds- of klassenniveau gedefinieerde plantengemeenschappen. Van de soorten werd nagegaan of ze verdwenen dan wel verschenen zijn of dat ze zich hebben gehandhaafd. Deze drie categorieën zijn als staven opgenomen. Voor de duidelijkheid zijn opgemerkt dat niet de mate van voorkomen, maar dat slechts af- of aanwezigheid in figuur 19 zijn verwerkt. Soorten die nog steeds voorkomen, kunnen in aantal achteruit of vooruit gegaan zijn.



**Figuur 19:** Het verdwijnen en verschijnen van plantesoorten voor enkele plantengemeenschappen in Stroothuizen tussen 1944 en 1990.



Omdat de standplaatseisen van de in de figuur genoemde plantengemeenschappen goed omschreven zijn, vallen snel de volgende conclusies te trekken: De soorten van gemeenschappen van vochtige en natte zure (*Ericion tetralicis*), natte zwak zure (*Parvocaricetea*) en de amfibische, zwak gebufferde (*Isoeto-Lobelietum* en *Eleocharitetum multicaulis*) omstandigheden hebben zich weten te handhaven. Er zijn veel soorten verschenen van gemeenschappen van natte zwak zure pioniermilieus (*Nanocyperion*). De soorten van gemeenschappen van natte, zwak alkalische (*Caricion davalliana*, *Calthion*, *Junco-Molinion*), zwak zure bron- en licht vochtige, zwak zure (*Violion caninae*) milieus zijn veelal verdwenen.

De achteruitgang van van basenrijk grondwater afhankelijke gemeenschappen en soorten is te wijten aan de effecten van landbouwkundige ontwatering in de omgeving van het reservaat. Daardoor zijn de waterstanden gedaald en is de invloed van basenrijk grondwater in de wortelzone verdwenen. De achteruitgang van het *Violion caninae* is mogelijk het gevolg van zure depositie en/of achterstallig beheer.

Het verschijnen van aan natte, zwak zure omstandigheden gebonden pioniersoorten en het standhouden van enkele soorten uit de amfibische milieus is te danken aan een in de laatste jaren door de terreinbeheerder uitgevoerd intensief vegetatiebeheer. Door plaggen van nog enigszins door basenrijk grondwater gevoede lage delen en verwijdering van voedselrijke bagger uit een ven hebben genoemde typen zich kunnen ontwikkelen danwel handhaven.

## 5. DE ECOLOGISCHE EFFECTVOORSPELLING

Hoe kan nu al deze ecologische kennis gekoppeld worden aan die van de hydrologen? Een eerste probleem is de schaal waarop beide disciplines werken c.q. moeten werken bij de effectvoorspelling. Zoals uit figuur 13 blijkt komen op een klein oppervlak veel plantengemeenschappen voor. Al deze plantengemeenschappen hebben hun eigen gevoeligheid voor de effecten van grondwaterwinning. De ecooloog moet dus op een fijne schaal werken, wil hij niet alleen maar triviale uitspraken doen over de effecten van een winning.

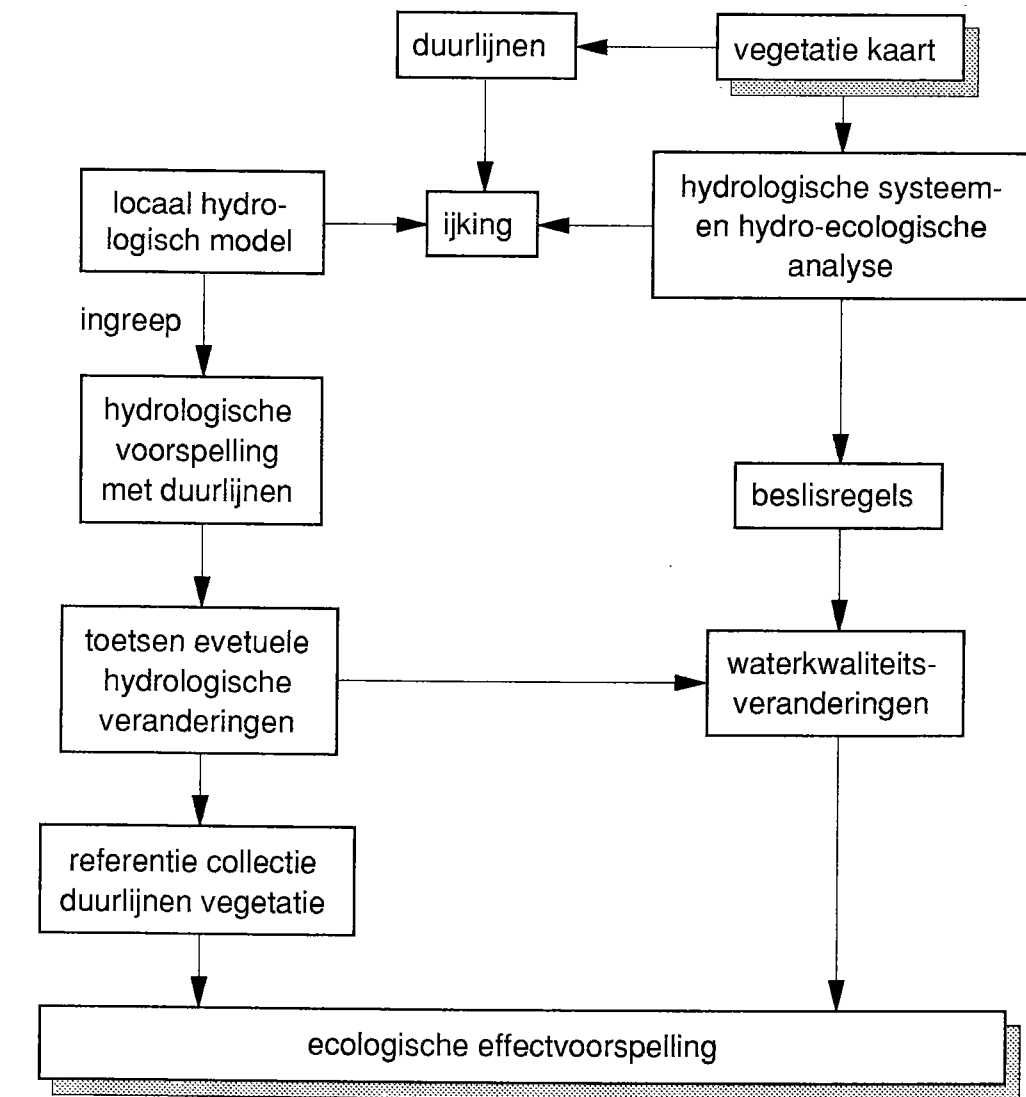
Hydrologen werken veelal (noodgedwongen) op een veel grovere schaal. Netwerkcellen in een grondwatermodel van 1 x 1 km of 500 x 500 meter zijn geen uitzondering. Bij de pompputten wordt vaak wel nauwkeuriger gemodelleerd. Daar zijn de veranderingen in waterstand groot, maar komen dankzij een goed vergunningenbeleid meestal geen waardevolle plantengemeenschappen voor. Bij het vergunningenbeleid wordt er namelijk naar gestreefd gebieden met waardevolle plantengroei zo weinig mogelijk te beïnvloeden, hetgeen betekent dat maar kleine grondwaterstandsdingen mogen voorkomen. Helaas hebben geringere dalingen aan de rand van de invloedssfeer van een winning toch nog wezenlijke effecten op de vegetatie. De vraag is nu hoe dit schaalverschil overbrugd kan worden. Een tweede vraag is wat hydrologen moeten voorspellen. Is een (gemiddelde) grondwaterstandsding alleen voldoende voor de ecooloog om mee uit te moeten kunnen?

In figuur 20 is schematisch weergegeven welke soorten informatie ingezet en gekoppeld moeten worden om tot een betrouwbare, zo kwantitatief mogelijke effectvoorspelling op de schaal van afzonderlijke, of clusters van nauw verwante plantengemeenschappen te komen. Hieronder zal deze figuur toegelicht worden.

Ons inziens dient kennis over de standplaatsfactoren van plantengemeenschappen en/of soorten gekoppeld te worden aan een hydrologisch model. Als meest sturende factor voor de vegetatie beschouwen wij het verloop van de grondwaterstand gedurende het jaar. Een gemiddelde grondwaterstand geeft onvoldoende informatie over de standplaatskarakteristieken van afzonderlijke plantengemeenschappen. Inmiddels bestaat een redelijke kennis over de relatie tussen diverse plantengemeenschappen en het voor hun karakteristieke verloop van de waterstand, weergegeven in de vorm van duurlijnen. Hydrologen beschikken over veel kennis van en ervaring met het modelleren van stijghoogten en grondwaterstanden. Beide disciplines zijn dus in staat over het verloop van de grondwaterstand kwantitatieve, redelijk betrouwbare uitspraken te doen. Een bijkomend voordeel van de inzet van vegetatiekundige kennis is dat de vegetatiekaart van een gebied gebruikt kan worden voor de ijking en verificatie van een hydrologisch model. Deze ijking verloopt dan niet alleen meer via een meestal zeer beperkt aantal stijghoogtedata, maar tevens op de ruimtelijke verspreiding van duurlijnen, zoals afgeleid uit een vegetatiekaart. Ook de hydrologische systeem-analyse en de hydro-ecologische analyse leveren inzichten op, die gehanteerd kunnen worden bij de ijking en de verificatie van de modeluitkomsten.

Randvoorwaarde voor het bovengeschetste gebruik van grondwatermodellen is dat modellering op een fijnschalig niveau geschiedt. Wij zien goede mogelijkheden om bestaande modellen geschikt te maken voor lokale hydrologische modelleringen. Vanwege veelvuldig gebruik op KIWA en in de bedrijfstak wordt gekozen voor de aanpassing van het model MODFLOW. Maas (1990) heeft de theoretische grondslagen voor het ruimtelijk verschuiven van het kwelvlak in gradiënten uitgewerkt. De positie van het kwelvlak wordt in vochtige natuurgebieden voornamelijk gestuurd door de maaiveldhoogte. De beschikbaarheid van nauwkeurige, in een fijnmazig net gelegen hoogtegegevens is dus noodzakelijk. Momenteel worden opties geprogrammeerd voor boven maaiveld uitstijgend grondwater en voor interpolatie van stijghoogten/grondwaterstanden binnen de elementen van een model. Zo kan het kwelvlak van gradiënten gesimuleerd worden.

Ook de chemische samenstelling van het grondwater in de wortelzone is van groot belang voor de vegetatie. Voor gemeenschappen van matig basenrijke en basenrijke omstandigheden worden deze vaak bepaald door verticaal of zijdelings uittredend grondwater (zie Grootjans, 1985). Ecologen bezitten thans een redelijk grote kennis van de indicatiewaarden van plantengemeenschappen voor deze factor. Hydrochemische modellen voor de voorspelling van de chemische samenstelling van het grondwater na veranderingen in stijghoogten, standen en stromingspatronen bestaan voorzover ons bekend niet of staan nog in de kinderschoenen. Hydrologen zullen vooralsnog de effecten van een grondwaterwinning op deze parameter moeten inschatten. De kennis vergaard tijdens het opstellen van de hydrologische systeem- en hydro-ecologische analyse is voor dit doel goed inzetbaar.



**Figuur 20:** Schema van voorgestelde ecologische effectvoorspellingsmethode.

Vervolgens zullen ecologen dan in kwalitatieve zin kunnen aangeven wat de effecten op de vegetatie zijn. Deze procedure dient geformaliseerd en controleerbaar te zijn. Dat kan door het opstellen van beslisregels, waarin wordt opgenomen op grond van welke criteria besloten wordt wat met een vegetatietype danwel soort gaat gebeuren onder invloed van welke hydrochemische verandering. Dergelijke criteria dienen eveneens opgesteld te worden voor de te verwachten geohydrochemische veranderingen die het gevolg zijn van veranderingen van de kwelintensiteit of verminderde stijghoogte.

Als eenmaal een in ruimte en tijd voldoende nauwkeurig lokaal hydrologisch model is ontworpen, kan uiteindelijk overgegaan worden tot de voorspelling van de effecten van een hydrologische ingreep. De output van het grondwatermodel is het verloop van de grondwaterstand/stijghoogte via

duurlijnen en een ruimtelijke weergave van de afname van kwelintensiteit dan wel ontstaan of toename van infiltratie.

De output van het grondwatermodel wordt statistisch getoetst tegen de situatie voor de ingreep. De wijze van toetsing is uitgezocht door Drost (in prep.). Zij ontwerpt hiervoor momenteel de benodigde programmatuur. Er doen zich een aantal mogelijkheden voor:

- 1 Er verandert niets. De effectvoorspelling is dan snel klaar; alles blijft bij het oude.
- 2 De grondwaterstanden blijven gelijk, maar stijghoogten, kwel- en/of infiltratie veranderen. Veranderingen in de chemische samenstelling van het ondiepe grondwater zijn dan mogelijk. Of dit optreedt, wat de eventuele effecten op de vegetatie zijn en voor welk vegetatietype standplaatscondities zijn ontstaan wordt bepaald met behulp van de beslisregels.
- 3 Het verloop van de grondwaterstanden verandert. De door het model gegenereerde duurlijnen worden getoetst aan de in een referentiecollectie aanwezige set duurlijnen. Eerst wordt getoetst of de nieuwe duurlijn nog karakteristiek is voor het in de oude situatie voorkomende vegetatietype. Is dit niet het geval dan wordt vervolgens getoetst op duurlijnen van andere vegetatietypen. De meest overeenkomstige duurlijn geeft dan aan welk vegetatietype verwacht mag worden op grond van het verloop van grondwaterstanden. Vervolgens wordt de chemische samenstelling van het grondwater in beschouwing genomen. De te volgen procedure is die beschreven bij 2.

De output van de ecologische effectvoorspelling is dus een vegetatiekaart van het gebied voor de situatie na een ingreep in de waterhuishouding, onder voorwaarde dat de voorspelde hydrologische effecten zullen plaatsvinden. Nog opgemerkt zij, dat het voorspellen van een vegetatie eigenlijk niet mogelijk is, doch dat feitelijk voorspeld wordt welke vegetatie in principe thuishoort op de nieuw ontstane standplaatsen. Of een vegetatie zich onder deze nieuwe condities ook werkelijk ontwikkelt, is afhankelijk van factoren als zaadverspreiding, kieming, zaadkapitaal e.d.

## 6. TOEKOMST

Het speurwerkproject dient in 1992 afgerond te zijn. Voor die tijd dienen nog diverse activiteiten plaats te vinden om de gepresenteerde effectvoorspellingsmethode te operationaliseren.

Allereerst dienen nog enkele hydro-ecologische analyses vervaardigd te worden. De methode van deze analyse zal nog beschreven worden. De regionale hydrologische systeemanalyse wordt opgesteld door DGV-TNO (Hoogendoorn, in prep.). Naast de lokale hydrologische systeemanalyse van Stroothuizen zullen vooralsnog geen andere worden uitgevoerd. Allereerst zal voor Stroothuizen een lokaal hydrologisch model worden ontworpen. De eerste aanzetten daartoe zijn reeds geleverd (Meeuwissen, 1990). Ook zullen beslisregels moeten worden opgesteld. Het zal duidelijk zijn, dat de beslisregels gebiedseigen zijn en dus voor elke effectvoorspelling opnieuw moeten worden op-

gesteld. Van confectiewerk kan hier geen sprake zijn. Natuurlijk zal de methode van effectvoorspelling beschreven moeten worden, alsmede de benodigde instrumenten, zoals de database voor vegetatie- en abiotische gegevens, de diverse reken- en statistische programma's, de modulen van MODFLOW en de algemene opzet van beslisregels. De opbouw van een referentiecollectie van duurlijnen van vegetatietypen heeft tevens een hoge prioriteit.

## 7. LITERATUUR

- Bakker, T.W.M., J. Kleijn en E. van Zadelhof, 1981: Duinen en Duinvalleien. T.N.O., Delft.
- Barendregt, A. en M.J. Wassen, 1989: Het hydro-ecologisch model ICHORS (versies 2.0 en 3.0). Provincie Noord-Holland Dienst Milieu en Water en Interfacultaire Vakgroep Milieukunde R.U. Utrecht.
- Croese, T.H.M., 1990: Een vegetatietypologie voor de omgeving van Denekamp. KIWA N.V. Nieuwegein.
- Drost, Y.C., in prep.: Voorspelling van de invloed van grondwaterwinning op de vegetatiesamenstelling met behulp van duurlijnen. KIWA N.V. Nieuwegein.
- Everts, F.H. en N.P.J. de Vries, 1986: Landschapsoecologisch onderzoek Roden-Norg. Bureau Van der Wal en Langbroek, Leeuwarden.
- Fahner, F. en J. Wiertz, 1987: Handleiding bij het WAFLO-model. RIN-rapport 87/15, Leersum.
- J. Hoogendoorn, in prep.: Systeemanalyse Dinkeldal en Bornse Beek 1:50.000 (voorlopige titel), DGV-TNO, Oosterwolde.
- Grootjans, A.P., 1985: Changes of groundwaterregime in wet meadows. Dissertatie R.U. Groningen.
- Jansen, A.J.M., 1989 concept: Projectplan Ecologische Aspecten van Grondwaterwinning. Intern rapport, KIWA N.V., Nieuwegein.
- Jansen, A.J.M. en R. van Diggelen, 1987: Landschapsecologische methodenstudie naar de effecten van grondwaterwinning, deel 1: Methode en evaluatie. Langbroek, Bureau voor Landschapsecologisch onderzoek, Leeuwarden.
- Jansen, A.J.M. en C.J.S. Aggenbach, 1990: Lokaal hydrologische en hydro-ecologische analyse van Stroothuizen. KIWA N.V., Nieuwegein.
- Jansen, A.J.M. en C. Maas, 1989: Opzet en uitvoering van een hydrologisch meetnet in de omgeving van Denekamp. SWE 89-032, KIWA N.V. Nieuwegein.
- Jansen, P.C., 1981: Verwerking, interpretatie en toepassingsmogelijkheden van grondwaterstandsgegevens met behulp van overschrijdingsduurlijnen. ICW-nota 1260, Wageningen.
- Jalink, M.H., 1990: Onderzoek naar indicatorsoorten voor verdroging, verzuring en eutrofiëring. In: waterwinning en verdroging; mededeling nr. 115, KIWA N.V. Nieuwegein
- Kok, A. en P.C. Schipper, 1988: Natuureffectvoorspelling in de T.C.G.B. rapporten, een handleiding voor de gebruiker. Technische Commissie Grondwaterbeheer, Utrecht.
- Kemmers, R.H., 1981: Interfering stream patterns as cause of the presence of gradient vegetations. Perspectives in landscape ecology. International congress of the Netherlands Society for Landscape Ecology (W.L.O.), Veldhoven, 6-11 april 1981. I.C.W. Wageningen Posterguide nr. 3859 d.d. 5-8-1981.

- Kemmers, R.H., 1986: Perspectives in modeling of processes in the root zone of spontaneous vegetation at wet and damp sites in relation to the regional watermanagement. Proc. and inform. CHO-TNO 34: p. 91-116.
- Kemmers, R.H., 1990: De stikstof- en fosforhuishouding van mesotrofe standplaatsen in relatie tot mogelijkheden van aanvoer van gebiedsvreemd water. Utrecht Plantecology News.
- Kemmers, R.H. en G. van Wirdum, 1988. De betekenis van de chemische samenstelling van het grondwater voor het milieu van wilde planten. Biovisie Magazine 2: p. 2-6.
- Maas, C., 1990: Groundwater withdrawal from a hill with uniformly sloped seepage faces. SWI 90.137, KIWA N.V. Nieuwegein.
- Meeuwissen, B.A.J., 1990: Voorstel voor een fijschalig geohydrologisch modelonderzoek in het natuurgebied Stroothuizen bij Denekamp. SWI 90-155, KIWA N.V. Nieuwegein.
- Stuyfzand, P.J., B.A.J. Meeuwissen en A.J. Vogelaar, 1988: Hydrochemie en hydrologie van het Waterwingebied Oldenzaal en omgeving. SWO 88-212, KIWA N.V. Nieuwegein.
- Succow, M., 1988: Landschaftoecologische Moorkunde. Gebruder Borntraeger, Berlin/Stuttgart.
- Wassen, M.J., 1990: Waterflow as a major landscape ecological factor in fen development. Thesis R.U. Utrecht.
- Westhoff, V. en A.J. den Held, 1975: Plantengemeenschappen in Nederland. Tweede druk, Thieme & Cie, Zutphen.
- Westhoff, V. en A.J.M. Jansen, 1990: Vegetatiegegevens uit de jaren veertig van Noordoost-Twente. SWE 90-025, KIWA N.V., Nieuwegein.
- Van Wirdum, G., 1980: Eenvoudige beschrijving van de waterkwaliteitsverandering gedurende de hydrologische kringloop ten behoeve van de natuurbescherming. In: Hooghart, J.C. (red.): Waterkwaliteit in grondwaterstromingsstelsels. Commissie voor hydrologisch onderzoek T.N.O., Den Haag. p. 118-143.
- Wirdum, G. van, 1979: Dynamic aspects of trophic gradients in a mire complex. In: The relationship between waterquantity and waterquality in studies of surface water. CHO-TNO verslagen en mededelingen nr. 5: p. 66-82.
- Wirdum, G. van, 1986: Water related impacts on nature protection sites. Proc. and inform. CHO-TNO 34: p. 27-56.