

1998-33\_hydrologische-verkenning-verdroging

**stowa**

Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer



Nationaal onderzoeksprogramma

**Verdroging**

NOV - rapport 14-2

## Hydrologische verkenning voor maatregelen tegen verdroging



98

33



Nationaal onderzoeksprogramma

**Verdroging**

NOV - rapport 14-2

## Hydrologische verkenning voor maatregelen tegen verdroging

Arthur van Schendelstraat 816  
Postbus 8090, 3503 RB Utrecht  
Telefoon 030 232 11 99  
Fax 030 232 17 66  
E-Mail [stowa@stowa.nl](mailto:stowa@stowa.nl)

Publicaties en het publicatie-  
overzicht van de STOWA kunt u  
uitsluitend bestellen bij:

*Hageman Verpakkers BV*  
Postbus 281

2700 AC Zoetermeer  
tel. 079 - 361 11 88  
fax. 079 - 361 39 27

o.v.v. ISBN- of bestelnummer en  
een duidelijk afleveradres.

ISBN 90.5773.044.8

98 33

## INHOUDSOPGAVE

1	<u>INLEIDING</u> . . . . .	1
2	<u>SCHEMATISATIE VAN GRONDWATERSTROMING EN VERDROGING</u> . . . . .	4
	2.1 <u>Afstromingsdiagram</u> . . . . .	4
	2.2 <u>Oorspronkelijke afvoerrelatie</u> . . . . .	6
	2.3 <u>Diepere ontwatering</u> . . . . .	7
	Diepere ontwatering van het natuurgebied en zijn omgeving . . . . .	8
	Diepere ontwatering in de omgeving van het natuurgebied . . . . .	8
	2.4 <u>Grondwateronttrekkingen</u> . . . . .	12
	Permanente onttrekkingen . . . . .	12
	Niet-permanente onttrekkingen . . . . .	16
3	<u>GEBIEDSTYPOLOGIE</u> . . . . .	17
	3.1 <u>Inleiding</u> . . . . .	17
	3.2 <u>Typologie</u> . . . . .	18
	Type A: "De Veluwe" . . . . .	18
	Type B: "De Dekzandrug" . . . . .	18
	Type C: "Het keileemplateau" . . . . .	18
	Type D: "Geïsoleerde gebieden" . . . . .	19
	Type Ew en Ek: "De Beekdalflank" . . . . .	19
	Type Er: "Salland" . . . . .	20
	Type F: "De Polder" . . . . .	20
	Type G: "Het Beekdal" . . . . .	21
	3.3 <u>Toekennen van de typologie in concrete situaties</u> . . . . .	21
4	<u>MAATREGELLEN TEGEN VERDROGING</u> . . . . .	24
	4.1 <u>Conserveren van grondwater</u> . . . . .	24
	4.2 <u>Verhogen van de perifere weerstand</u> . . . . .	26
	4.3 <u>Peilverhoging in de omgeving</u> . . . . .	27
	4.4 <u>Aanpassen van het waterafvoersysteem</u> . . . . .	28
	4.5 <u>Wateraanvoer</u> . . . . .	29
	4.6 <u>Verminderen van de invloed van onttrekkingen</u> . . . . .	30
	4.7 <u>Verloofen</u> . . . . .	30
	4.8 <u>Het verlagen van het maaiveld</u> . . . . .	31
	4.9 <u>Selectie van maatregelen</u> . . . . .	31

<u>BIJLAGE A: AFSTROMINGSDIAGRAM</u> . . . . .	33
<u>BIJLAGE B: ONTWATERING VAN LANDBOUWGRONDEN</u> . . . . .	37
<u>BIJLAGE C: PERIFERE WEERSTAND</u> . . . . .	40
<u>BIJLAGE D: FORMULE VAN DUPUIT</u> . . . . .	44
<u>BIJLAGE E: FORMULE VAN DE GLEE</u> . . . . .	46
<u>BIJLAGE F: DALINGEN DOOR BEREKENING</u> . . . . .	48
<u>BIJLAGE G: TYPOLOGIE EN BODEMSOORT</u> . . . . .	49
<u>BIJLAGE H: TYPOLOGIE, GT, LOKALE AFVOER EN WEERSTANDEN</u> . . . . .	50
<u>BIJLAGE I: GRONDWATERVOEDING</u> . . . . .	51
<u>BIJLAGE J: DE PAN</u> . . . . .	52
<u>BIJLAGE K: HET BOETELERVELD</u> . . . . .	60
<u>BIJLAGE L: HET REESTDAL</u> . . . . .	70
<u>BIJLAGE M: POMPSTATION ARCHEMERBERG</u> . . . . .	78
<u>BIJLAGE N: POMPSTATION SOESTDUINEN</u> . . . . .	83

## TEN GELEIDE

Door de complexiteit bij verdrogingsbestrijdingsprojecten en de uiteenlopende disciplines die erbij betrokken zijn bestond midden jaren negentig de behoefte aan een methode om voor concrete situaties een globale verkenning van de oorzaak en van veelbelovende maatregelen te genereren. Deze in het kader van het Nationaal Onderzoeksprogramma Verdroging door de STOWA gefinancierde methode heeft geresulteerd in het NOV-rapport 14 "Een Oriëntatie op Maatregelen tegen Verdroging" en is ook uitgebracht als STOWA-rapport 96-22.

De hierbovenbedoelde methode is, nu systeendenken en systeem-analyse bij de beheerders gemeengoed aan het worden is, bedoeld om in een aantal dagen op een snelle wijze een eerste gebiedsverkenning uit te voeren. Aan de hand van gebiedsinventarisatie, gebiedsschematisatie, evaluatie van kaartmateriaal en programma van eisen kan men door toepassing van de methodiek komen tot een kansrijkheid van herstelmaatregelen. Deze methodiek is vooral bij de start van een anti-verdrogingsproject uiterst bruikbaar.

Deze methodiek is in middels toegepast in een zevental proefgebieden, getoetst aan vijftienveertig natuurkernen in Pleistoceen Nederland en verfijnd aan de hand van de resultaten. De positieve ervaringen uit de proefgebieden nodigen uit tot verdere implementatie van deze methode in de praktijk doordat een dergelijke verkenning een betere planning van het verdere verloop van een anti-verdrogingsproject mogelijk maakt.

Het onderzoek bestond uit een verkenning van een zestal verdroogde gebieden en is uitgevoerd door A.P. Bot (de ontwerper van de methodiek) samen met vertegenwoordigers van de waterschappen waarin de gebieden zijn gelegen. De werkgroep bestond uit mw. A. van de Looij en C. Beljaars (Waterschap De Dommel); mw. C. Geujen en L. Vriens (Waterschap Mark en Weerijs); mw. M. Dekker (Waterschap Rijn en IJssel); E. Broeze en S.P. Bakker (Waterschap Groot Salland); P.G. Neijenhuis (Waterschap Vallei & Eem); A.P. Bot (adviseur te Rotterdam); mw. A. van Herk (RIZA/NOV) en L.R. Wentholt (STOWA).

Het voorliggend STOWA-rapport "Hydrologische Verkenning voor Maatregelen tegen Verdroging" bevat behalve de toepassing van de methode op een vijftal situaties ook de verfijnde methodiek. De STOWA is de volgende personen erkentelijk voor hun aandeel in het rapport: Bram Bot voor de hoofdtekst en de verkenning van de invloed van de pompstations Archemerberg en Soestduinen; Anita van de Looy voor haar bijdrage over het gebied "De Pan" en haar belangrijke bijdrage aan het toegankelijk en leesbaar maken van het rapport; Erik Broeze en Sam-Peter Bakker voor hun bijdragen over het Boetelerveld en het Reestdal.

Utrecht, september 1998

De directeur van de STOWA

drs. J.F. Noorthoorn van der Kruijff

1 INLEIDING

Het NOV-14 rapport (april 1996) "Een oriëntatie op maatregelen tegen verdroging" beschrijft een methodiek voor een hydrologische verkenning van concrete gebieden. Sindsdien zijn er enkele vervolgactiviteiten geweest:

- \* Een discussie en nadere uitleg in het tijdschrift *Stromingen*, nrs. 2/2 en 3/4;
- \* Verkenning van een 6-tal proefgebieden in Pleistoceen Nederland in opdracht van de STOWA en in samenwerking met de waterschappen Mark en Weerijs, De Dommel, Vallei & Eem, Rijn en IJssel en Groot Salland;
- \* Opstellen van algemeen geldende globale rekenregels voor de invloed van grondwateronttrekkingen en verlaagde omgevingspeilen, in opdracht van de VEWIN met als hoofduitvoerende IWACO, geverifiëerd aan de hand van een 45-tal natuurkernen van Goed Water Centraal.

In opdracht van de STOWA wordt nu een aangepaste versie van de methodiek gepresenteerd. In principe is de methodiek niet gewijzigd, maar in de praktische opzet zijn veel veranderingen doorgevoerd. Omdat enkele elementen van de typologie zijn samengenomen is de naamgeving opgeschoven (thans typen A t/m G). De voorliggende versie moet daarom niet samen met de eerdere gebruikt worden.

Beginpunt van de verkenning is nog steeds een kartering van de abiotische herstelvoorwaarden zoals geformuleerd door de terreinbeheerder. Tenminste moet de gewenste grondwaterstand in voorjaar en zomer bekend zijn. Ook moet bekend zijn of gebufferd grondwater in de wortelzone gewenst is en of een verrijkte bovenlaag moet worden verwijderd. Tenslotte moeten wensen ten aanzien van het oppervlaktewatersysteem bekend zijn.

De verkenning bestaat uit 3 onderdelen.

De eerste stap is een hydrologische beschrijving van het natuurgebied (het te herstellen gebied wordt hierna

steeds het "natuurgebied" genoemd) en zijn omgeving voor de situatie rond 1960, voor dat verdrogende ingrepen een grote vlucht namen. Deze beschrijving bestaat uit een kartering van de gebiedstypologie. De tweede stap bestaat uit een beoordeling van verdrogende ingrepen (geïntensiveerde ontwatering van het natuurgebied, geïntensiveerde ontwatering in de omgeving en grondwateronttrekkingen), waarmee de huidige situatie verklaard kan worden.

Tenslotte worden veelbelovende maatregelen geselecteerd, bij voorbeeld door eliminatie van maatregelen die in de gegeven situatie niet effectief zijn.

Voor de selectie van maatregelen is geen systematische aanpak gegeven in de vorm van een beslisboom. Pogingen daartoe bleken ingewikkeld en tegelijkertijd vaak triviaal. De onderzoeker kan veel beter met eigen logica tot effectieve maatregelen besluiten. Hij wordt daar toe in staat gesteld omdat de gebiedstypologie, de uitwerking van verdrogingsoorzaken en het effect van maatregelen in een samenhangende schematisatie zijn beschreven. In hoofdstuk 2 wordt die schematisatie geïntroduceerd. In hoofdstuk 3 volgt de presentatie van de typologie die daar bij aansluit. Het effect van maatregelen is aangegeven in hoofdstuk 4.

De volgende informatiebronnen zijn tenminste nodig voor de verkenning (maar andere bronnen zijn natuurlijk ook welkom):

- \* Topografische kaart 1:25.000;
- \* Bodemkaart 1:50.000;
- \* Grondwaterkaart DGV-TNO;
- \* Grote Historische Atlas 1:50.000;
- \* Gegevens oppervlaktewatersysteem (lokatie, afmetingen, afvoeren, peilen en waterkwaliteit van watergangen);
- \* Lokatie, diepte en jaardebiet van grondwateronttrekkingen;

- \* Nauwkeurige veldinspectie, inclusief pH en EC metingen.

In sommige gevallen ligt de situatie na de verkenning zo glashelder dat de onderzoeker al tot een maatregel kan besluiten. Vaker zal het voorkomen dat nog enige toetsing nodig is, of verder onderzoek om tussen twee of drie maatregelen te kiezen. Met behulp van de verkenning kan zo'n vervolgonderzoek echter scherp worden gedefiniëerd. De werkzaamheden en de rapportage van de verkenning zouden dus als volgt ingedeeld kunnen worden:

1. Kartering gebiedstypologie.
2. Analyse van de verdrogingsoorzaak.
3. Selectie van de maatregel(en).
- (4) Beschrijving van de resterende onzekerheid, waardoor een beslissing nog niet gerechtvaardigd is.
- (5) Een programma voor toetsing of vervolgonderzoek om de onzekerheid van (4) weg te nemen. In zo'n vervolgonderzoek zouden ook al werkzaamheden voor een inrichtingsplan kunnen worden opgenomen.

Last but not least:

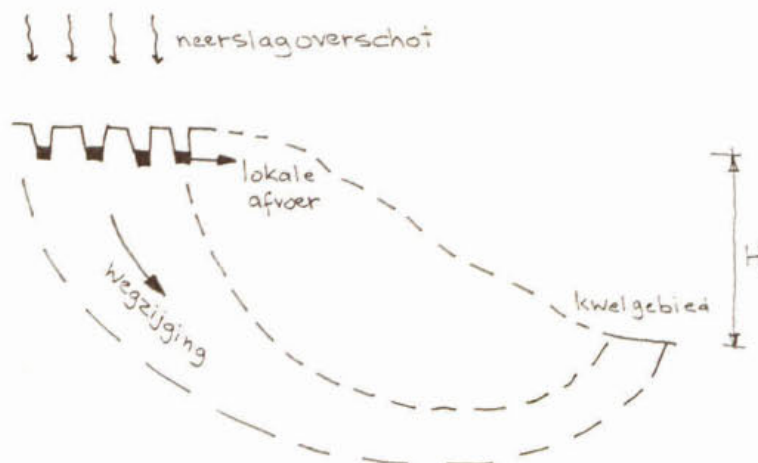
Steeds moet de onderzoeker zich realiseren dat de methodiek is gebaseerd op een eenvoudige abstractie van de werkelijkheid. Voor belangrijke onderdelen, bij voorbeeld, is de grondwaterstroming geschematiseerd tot een stationaire toestand, zonder verschillen voor seizoenen en natte en droge jaren. Ook zijn fluxen en peilen constant verondersteld over het natuurgebied, zonder rekening te houden met effecten die aan de rand natuurlijk anders zijn dan in het midden. De bewerkingen zijn zoveel mogelijk gekwantificeerd, maar steeds binnen die eenvoudige abstractie. Alle overwegingen en berekeningen geven slechts een orde van grootte aan.



2 SCHEMATISATIE VAN GRONDWATERSTROMING EN VERDROGING2.1 Afstromingsdiagram

Het neerslagoverschot van zo'n 300 mm/jaar infiltreert vrijwel overal in Nederland in de bodem. Afstroming over het maaiveld komt vrijwel niet voor. Het geïnfiltreerde overschot zal via de onverzadigde zone het freatische grondwater bereiken. Afhankelijk van de diepte van de grondwaterstand zal het overschot in een wegzijggebied op verschillende wijzen tot afstroming komen:

- a. Bij een relatief diepe stand van het grondwater zijgt het overschot volledig weg naar de (diepere) ondergrond en komt elders weer aan de oppervlakte, in kwelgebieden.
- b. Wanneer de grondwaterstand dicht bij het maaiveld komt, zal een natuurlijk lokaal ontwateringsstelsel ontstaan of zal door mensenhand zo'n stelsel worden aangelegd. Een deel van het neerslagoverschot zal door dit lokale ontwateringsstelsel worden afgevoerd, terwijl het restant wegzijgt naar de (diepere) ondergrond.



Figuur 1: Afstroming van het neerslagoverschot in een wegzijggebied.

De wegzijging en de lokale afstroming tezamen moeten uiteraard gelijk zijn aan het neerslagoverschot.

De lokale afstroming wordt globaal beschreven aan de hand van de drainageweerstand (in dagen), waarmee de grondwaterstand boven de lokale drainagebasis gerelateerd is aan de intensiteit van de lokale afstroming. De wegzijging kan op dezelfde manier worden beschreven: met de zogenaamde "systeemweerstand" (ook in dagen) die een relatie legt tussen de grondwaterstand in het wegzijggebied ten opzichte van die in het bijbehorend kwelgebied (= systeemverval H in figuur 1) en de intensiteit van de wegzijging.

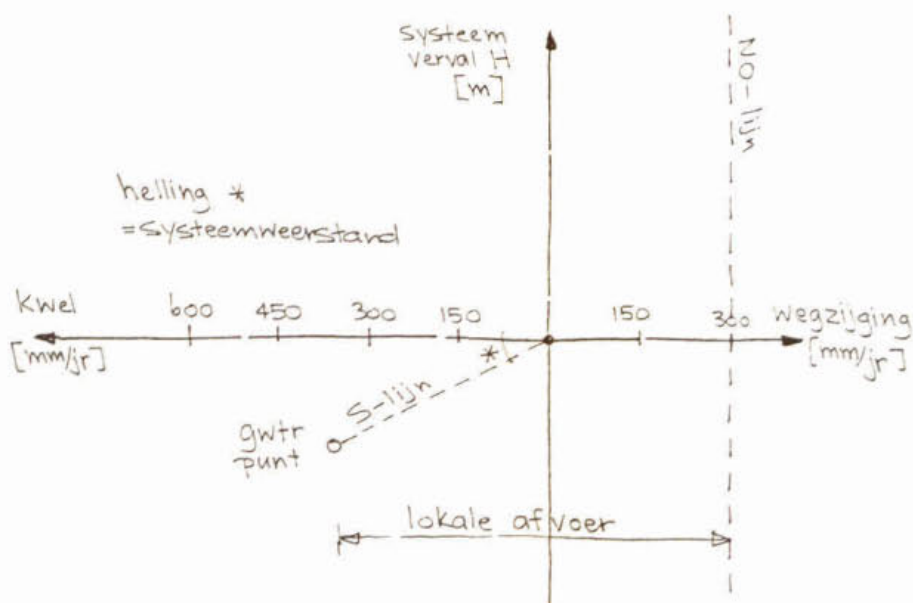
Voor een kwelsituatie kan een soortgelijke schematisatie worden opgesteld, met dien verstande dat daar de lokale afvoer gelijk is aan de kwel plus het neerslagoverschot.

In het bijlage A is deze manier van beschrijven gedetailleerd uitgelegd. Het blijkt dat de wegzijging (resp. kwel), lokale afvoer en systeemweerstand voor alle denkbare situaties steeds worden weergegeven door een punt in het zogenaamde afstromingsdiagram, dat in figuur 2 is weergegeven. Uiteraard wordt met het diagram alleen een globale schematisatie in beeld gebracht; meest in het oog springend is de vereenvoudiging tot een stationaire situatie, zonder seizoensmatige fluctuatie van het neerslagoverschot.

De verticale as van het diagram geeft het systeemverval weer. Op de horizontale as zijn wegzijging (naar rechts) en kwel weergegeven. De lokale afvoer is steeds de horizontale afstand tussen het grondwaterpunt en de zogenaamde NO-lijn (een verticale lijn met een wegzijging gelijk aan het neerslagoverschot van 300 mm/jaar).

De helling van de S-lijn, die steeds naar de oorsprong van het diagram is gericht, komt overeen met de systeemweerstand. Grote, diepe grondwatersystemen hebben over het algemeen een hoge systeemweerstand en dus een steile S-lijn. Oppervlakkige systemen hebben een lage systeemweerstand: de bijbehorend punten in het

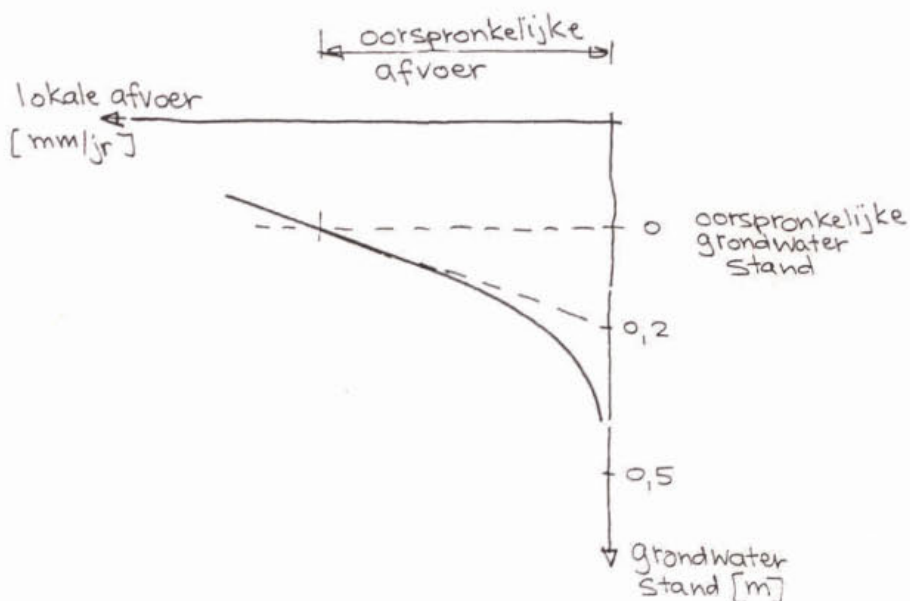
afstromingsdiagram liggen nabij de horizontale as. Zie ook paragraaf 3.3 en bijlage A.



Figuur 2: Afstromingsdiagram.

## 2.2 Oorspronkelijke afvoerrelatie

In paragraaf 2.1 en bijlage A is de afvoerrelatie van een lokaal ontwateringsstelsel als lineair aangenomen, met een evenredigheidsconstante gelijk aan de drainageweerstand. De afvoerrelatie van het ontwateringsstelsel is in werkelijkheid alleen lineair (en gelijk aan de drainageweerstand) bij een geringe verandering van de grondwaterstand. Bij een verdergaande daling van de grondwaterstand zal de lokale afstroming relatief steeds minder afnemen en uiteindelijk helemaal niet meer. Een realistische afvoerrelatie is getekend in figuur 3. Bij een daling van de grondwaterstand van 0,5 m is de lokale afvoer vrijwel volledig verdwenen. De vorm van de afvoerrelatie in figuur 3 is geldig voor de oorspronkelijke situatie van rond het jaar 1960 en is in grote lijnen onafhankelijk van de grootte van de lokale afvoer. Het lineaire deel van de kromme (waarvan de helling overeenkomt met de drainageweerstand) snijdt de verticale as op ongeveer 0,2 m.



Figuur 3: Oorspronkelijke afvoerrelatie (rond het jaar 1960) als functie van de lokale afvoer.

Rond het jaar 1960 bestond dus globaal een relatie tussen de lokale afvoer en de intensiteit van ontwatering (afvoerrelatie). Sindsdien is de ontwatering van relatief natte landbouwgronden verder geïntensiveerd (zie bijlage B).

### 2.3 Diepere ontwatering

Diepere ontwatering is een belangrijke verdrogingsoorzaak en kan op 2 manieren plaats vinden:

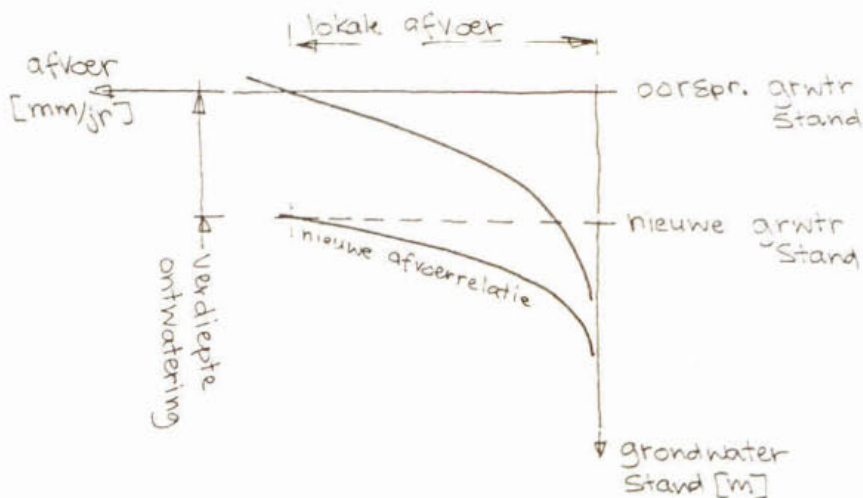
- a. door verdiepte ontwatering van het natuurgebied en zijn omgeving;
- b. door een diepere grondwaterstand in de omgeving, die het grondwater in het natuurgebied in meer of mindere mate meetrekt.

De 2 mechanismen zijn zeer verschillend en worden hieronder behandeld.

### Diepere ontwatering van het natuurgebied en zijn omgeving

De diepere ontwatering, ook in het natuurgebied, is doelbewust aangebracht om daar een lagere grondwaterstand te bereiken. Dat is bereikt door intensivering van het lokale ontwateringsstelsel, waardoor de afvoerrelatie is veranderd. De oorspronkelijke en de nieuwe relatie zijn aangegeven in figuur 4. Omdat de verdiepte ontwatering bedoeld is om de hogere grondwaterstanden in de winter te verlagen, is vooral de bovenzijde van de afvoerrelatie "afgebogen".

In figuur 4 is aangenomen dat de grootte van de lokale afvoer zich niet heeft gewijzigd. Wanneer de verlaging van de grondwaterstand niet te groot is en zich over een groot gebied uitstrekt zal daar vaak aan voldaan zijn. In bijlage A wordt daar kort op ingegaan.

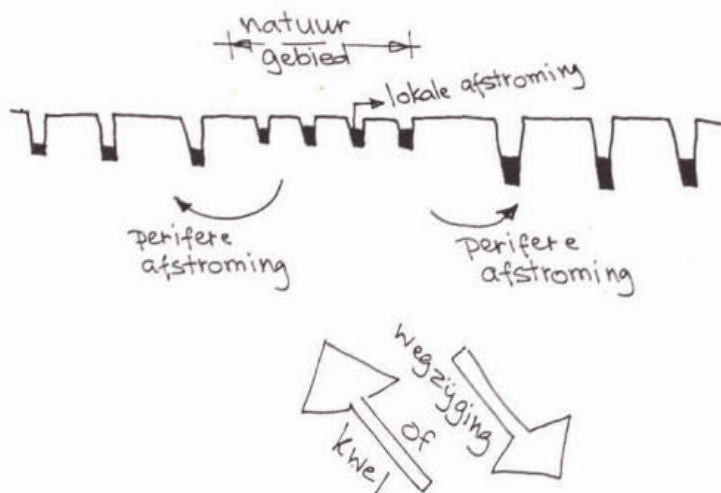


Figuur 4: Diepere ontwatering door aangepaste afvoerrelatie.

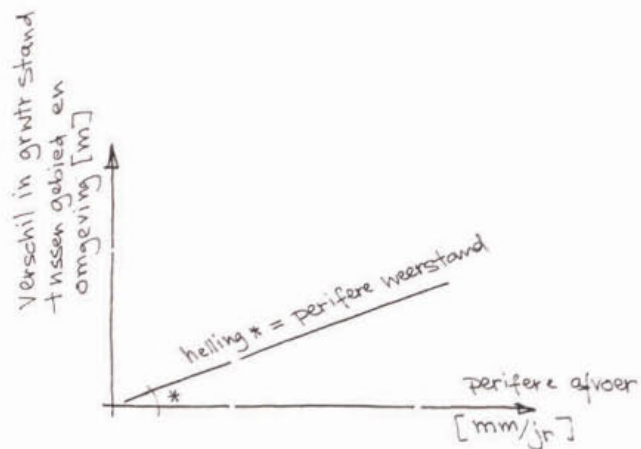
### Diepere ontwatering in de omgeving van het natuurgebied

In dit geval is de afvoerrelatie van het natuurgebied niet veranderd, maar is de grondwaterstand in de omgeving verlaagd (door verdiepte ontwatering of door diepere afvoerleidingen, zie bijlage B, of door

berekening, zie paragraaf 2.4). Deze verdrogingsoorzaak komt vaak voor. Onder invloed van het verschil in grondwaterstand zal een zogenaamde perifere afstroming (perifeer = over de rand van het natuurgebied) ontstaan, die in figuur 5 is geschetst.



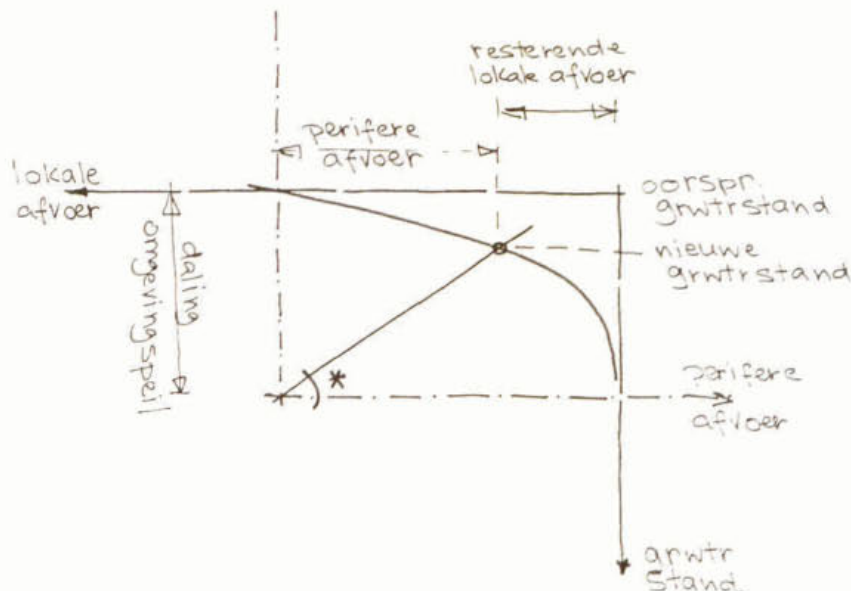
Figuur 5: Perifere afstroming.



Figuur 6: Perifere afvoer.

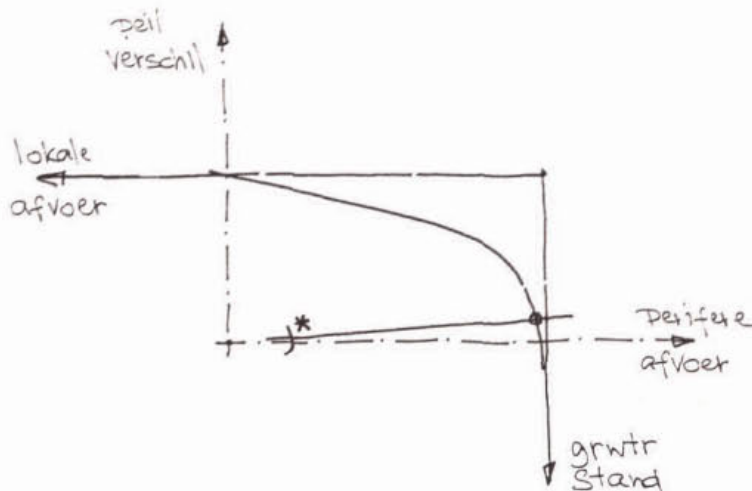
Ook de perifere afvoer kan beschreven worden aan de hand van een weerstand (in dagen): de "perifere weerstand". Deze legt de relatie tussen het verschil in grondwaterstand en de grootte van de perifere afvoer (uitgedrukt in mm/jaar over het natuurgebied). In figuur 6 is die relatie aangegeven. De perifere weerstand is gering op goed doorlatende ondergrond en voor kleine gebieden en is groot voor slecht doorlatende ondergrond en grote gebieden. In bijlage C is een globale evaluatie van de perifere weerstand gegeven: variërend van enkele tot honderden dagen.

De perifere weerstand is meestal klein ten opzichte van de systeemweerstand. De verandering in wegzijging/kwel (zie bijlage A) is dus te verwaarlozen ten opzichte van de ontstane perifere afvoer. De perifere afvoer gaat dus slechts ten koste van de lokale afvoer. In figuur 7 is dat getekend door de grafieken van de afvoerrelatie van het natuurgebied en die van de perifere afvoer op elkaar te leggen. De grondwaterstand in het natuurgebied zal in meer of mindere mate naar beneden worden getrokken onder invloed van de perifere afvoer. De mate hangt af van de omgevingsverlaging, van de waarde van de perifere weerstand en van de oorspronkelijke lokale afvoer.



Figuur 7: Verlaging van de grondwaterstand door een lager omgevingspeil.

Bij een lage perifere weerstand zal de oorspronkelijke lokale afvoer in het natuurgebied grotendeels wordt omgezet in perifere afvoer en zal het grondwater de verlaging in de omgeving vrijwel volledig volgen, zoals in figuur 8 is weergegeven. Het is heel goed mogelijk dat een oorspronkelijke kwel in de wortelzone omslaat in slootkwel of zelfs geheel verloren gaat. Bij een hoge perifere weerstand kunnen verschillen in grondwaterstand met de omgeving veel beter in stand worden gehouden.



Figuur 8: Daling van de grondwaterstand bij zeer lage perifere weerstand.

Al eerder is vermeld, dat de hier beschreven schematisatie slechts een zeer vereenvoudigde is (bij voorbeeld zonder beschouwing van seizoensfluctuaties). Ook is aangenomen dat de perifere afvoer gelijkmatig is verdeeld over het gehele natuurgebied, zonder dat rekening is gehouden met het feit dat de effecten aan de rand anders zijn dan in het midden van het gebied. Met de beschreven methode kan alleen het relatieve belang van het effect van perifere afvoer worden verkend.

Een waarschuwing: in het geval van een schijnspiegel kan de bovenbeschreven aanpak niet gebruikt worden. Een verlaging van de grondwaterstand in het natuurgebied leidt daar namelijk tot een niet te verwaarlozen



verandering van de wegzijging. Perifere afvoer vindt bovendien alleen plaats boven de storende laag waarop de schijnspiegel zich heeft gevormd.

#### 2.4 Grondwateronttrekkingen

##### **Permanente onttrekkingen**

Het water dat met een permanente onttrekking wordt gewonnen is afkomstig uit zijn intrekgebied. De invloed die de onttrekking heeft op zijn omgeving in termen van dalingen van de grondwaterstand en verminderde uitstroming van grondwater naar oppervlaktewater moet op een andere manier worden beschouwd. Het eenvoudigst is daarbij de waterbalans van het grondwatermassief waaruit wordt onttrokken te bekijken. Wanneer wordt afgezien van stroming over de rand van het massief, geldt in de oorspronkelijke situatie zonder de onttrekking:

$$\begin{aligned} \text{Neerslagoverschot} &= \\ &\text{Uitstroming naar oppervlaktewater} \end{aligned}$$

Onder invloed van de onttrekking wordt de balans:

$$\begin{aligned} \text{Neerslagoverschot} &= \\ &\text{Onttrekking} + \text{Uitstroming naar oppervlaktewater} \end{aligned}$$

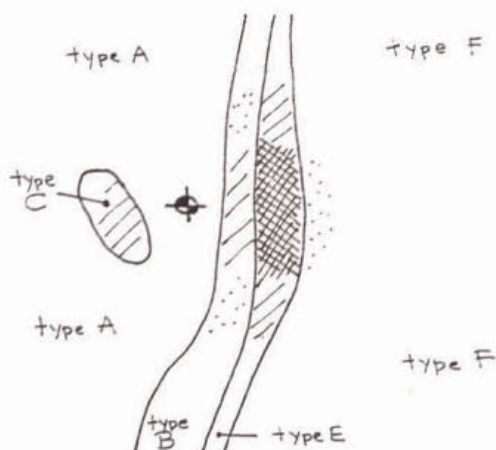
Wanneer we de verandering van het neerslagoverschot verwaarlozen (ofschoon de verdamping zal verminderen door de lagere grondwaterstand), blijkt de onttrekking ten koste te gaan van uitstroming naar oppervlaktewater. Het is natuurlijk ook mogelijk dat een verhoogde instroming vanuit oppervlaktewater plaats vindt, maar dan betreft het watergangen die voldoende water van elders aanvoeren.

Een onttrekking is als het ware "op zoek naar uitstromend grondwater", bij voorkeur zo dicht mogelijk bij de onttrekking gelegen en zo min mogelijk afgeschermd door tussenliggende scheidende lagen. De totale verminderde uitstroming moet natuurlijk gelijk zijn aan het debiet van de onttrekking. Langs deze weg is globaal de invloed van een onttrekking redelijk

eenvoudig te schetsen. Daartoe moet de oorspronkelijke uitstroming (= lokale afvoer) in kaart worden gebracht.

Een voorbeeld van de verminderde uitstroming door een onttrekking is getekend in figuur 9. In de figuur is de hydrologische typologie van de omgeving aangegeven. De typologie van hydrologische situaties wordt in het volgende hoofdstuk geïntroduceerd en beschrijft onder andere de lokale afvoer. Daar moet nu op vooruit worden gelopen:

type A: wegzijggebied zonder lokale afvoer, diepe grondwaterstand;  
 type B: wegzijggebied met weinig lokale afvoer;  
 type C: wegzijggebied met matige lokale afvoer, maar afgeschermd door een storende laag;  
 type E: wegzijging/kwel, met een hoge lokale afvoer;  
 type F: kwelgebied met een belangrijke lokale afvoer, maar afgeschermd door een scheidende laag.

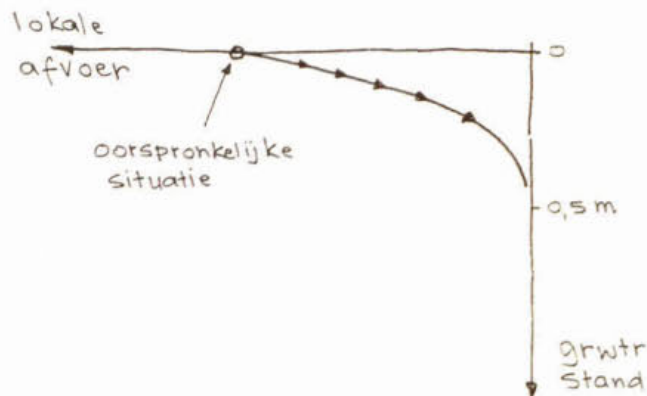


Figuur 9: Voorbeeld van verminderde uitstroming voor een onttrekking.

In het gebied met type A, hoewel dicht bij de onttrekking gelegen, valt geen verminderde uitstroming te halen, want er is geen uitstroming. Bij type B is maar weinig te halen omdat de uitstroming gering is, bij voorbeeld 100 mm/jaar. Typen C en F zijn afgeschermd en leveren dus ook maar weinig, zeg 50 resp. 100 mm/jaar. Met name het gebied met type E zal worden aangesproken, ter grootte van bij voorbeeld 500 mm/jaar. Door "trial

and error" kunnen zodoende gebieden worden aangesproken tot het debiet van de onttrekking is gehaald.

Wanneer een grote watergang met doorlatende bodem nabij de onttrekking is gelegen, zal de verminderde uitstroming grotendeels worden geleverd door verhoogde instroming vanuit deze watergang.



Figuur 10: Verlaging van de grondwaterstand door verminderde uitstroming van grondwater naar oppervlaktewater.

Een vermindering van de lokale afvoer gaat samen met een verlaging van de freatische grondwaterstand, via de afvoerrelaties zoals getekend in figuur 10. Het overgrote deel van de lokale afvoer is over het algemeen "verbruikt" bij een daling van 0,5 m; een verdere daling zal geen extra verminderde uitstroming meer leveren. De vermindering van de lokale afvoer en de resulterende verlaging van de grondwaterstand voltrekt zich volgens de pijl in figuur 10, overigens op dezelfde manier als voor het geval van perifere afstroming (zie paragraaf 2.3).

Uit een schets van de aangesproken verminderde uitstroming wordt direkt duidelijk op welke wijze de omliggende gebieden worden aangetast, in de vorm van een daling van de grondwaterstand en bij voorbeeld een afname van kwel.

De verlagingen in het watervoerend pakket kunnen benaderd worden met analytische berekeningen, afhankelijk van het ruimtelijke patroon van de verminderde uitstroming:

met de formule van Dupuit, wanneer de verminderde uitstroming min of meer concentrisch op enige afstand rond de onttrekking is gelegen (zie bijlage D).

met de formule van De Glee, wanneer de verminderde uitstroming verspreid is gelegen om de onttrekking en wanneer die onder een scheidende laag is gelegen (zie bijlage E);

De aangenomen verminderde uitstroming moet uiteraard passen bij de grondwaterstands dalingen, die langs bovengenoemde lijnen zijn geschat. Zo niet, dan moet een bijgestelde poging worden gedaan.

Omdat zowel het natuurgebied als zijn omgeving worden beïnvloed door een onttrekking, zal over het algemeen geen belangrijke perifere afstroming op gang komen.

Zoals al gezegd: een onderliggende weerstandbiedende laag biedt bescherming tegen de invloed van onttrekkingen. De afscherming is uiteraard groot bij een hoge hydraulische weerstand. Maar ook een storende laag met daarop een schijnspiegel (meestal in de winter) biedt afscherming tegen de invloed van een onttrekking. Voor onderzoek naar het al dan niet voorkomen van een schijnspiegel bestaat overigens geen verkennende methode. Er valt niet te ontkomen aan gedetailleerd onderzoek naar bodemopbouw en grondwaterpotentialen.

De verminderde uitstroming wordt overigens vaak gepresenteerd als resultaat van modelberekeningen, in termen van afgenomen kwel resp. toegenomen wegzijging. Wanneer zo'n berekening voorhanden is moet daar natuurlijk gebruik van worden gemaakt. Hetzelfde geldt voor een berekend verlagingpatroon.

### Niet-permanente onttrekkingen

Niet permanente onttrekkingen van grondwater worden op grote schaal gebruikt voor beregening van landbouwgronden. Over het algemeen gaat het om verspreide aantallen relatief kleine onttrekkingen, waarmee voornamelijk in de maanden mei tot en met augustus wordt onttrokken. Door dit tijdelijke karakter gaat het onttrokken water grotendeels ten koste van de lokale grondwatervoorraad en wordt veel minder geleverd uit toestroming vanuit de omgeving. De onttrekkingen voor beregening kunnen daarom worden beschouwd als tijdelijke verlagingen van het plaatselijke grondwater. De grootte van die verlaging hangt af van het vochttekort en van het beregende areaal in verhouding tot de totale oppervlakte. Een ruwe benadering (zie bijlage F) is:

daling [cm] = vochttekort [mm] • % beregend oppervlak

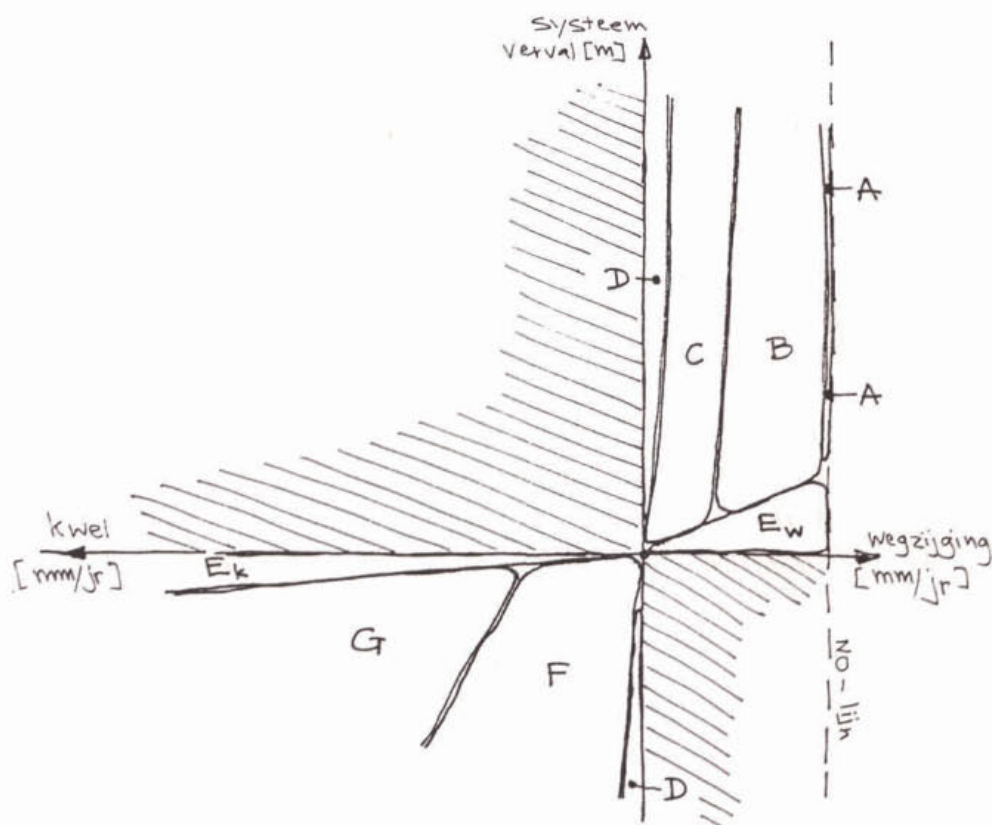
Voorbeeld: vochttekort van 65 mm, 40 % van het oppervlak wordt beregend: de verlaging in de zomer bedraagt dan 26 cm.

Wanneer wordt onttrokken onder een weerstandbiedende laag van enige betekenis, zal de verlaging over een groter gebied verspreid zijn en dus veel minder merkbaar. Bovengenoemde benadering is dan natuurlijk niet geldig.

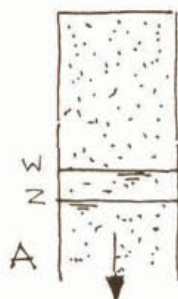
In het voorjaar zal de verlaging over het algemeen weer ongedaan zijn gemaakt door het neerslagoverschot in de winter. De tijdelijke onttrekkingen zijn dus uiteindelijk ten koste gegaan van de lokale afvoer in de herfst en winter. Daarmee wordt meteen duidelijk dat tijdelijke onttrekkingen wel als permanente onttrekking moeten worden beschouwd in gebieden met weinig lokale afvoer, of met een schijnspiegel in de winter.

3 GEBIEDSTYPOLOGIE3.1 Inleiding

In hoofdstuk 2 is een vereenvoudigde kijk op grondwaterstroming en verdrogingsoorzaken gepresenteerd, aan de hand van een beperkt aantal onderscheidende parameters. Daarmee kunnen nu een aantal karakteristieke situaties worden beschreven in de vorm van typen A tot en met G. In paragraaf 3.2 volgt een beschrijving van de typen, voor de oorspronkelijke (1960) situatie. De plaats van de typen in het afstromingsdiagram is aangegeven in figuur 11. Een overzicht van de belangrijkste kenmerken per type is aangegeven in bijlagen G en H. In paragraaf 3.3 wordt uitgelegd hoe de typen kunnen worden toegekend in een concrete situatie.

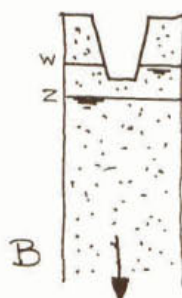


Figuur 11: Typologie in het afstromingsdiagram.

3.2 Typologie**Type A: "De Veluwe"**

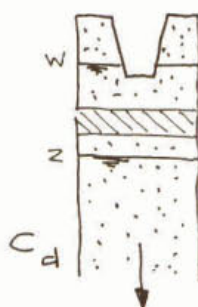
Gebieden van het type A hebben een dermate diepe grondwaterstand, dat geen ontwateringsstelsel is ontstaan of aangelegd. Het volledige neerslagoverschot zijgt weg en er is geen lokale afvoer. Vanwege de diepe grondwaterstand bestaat in de onverzadigde zone een hangwaterprofiel. Veranderingen in de grondwaterstand hebben geen invloed op de vochttoestand in de onverzadigde zone en kunnen dus niet tot verdroging leiden: type A is gevrijwaard van verdroging.

Gebieden van het type A zijn relatief hoog gelegen, zoals de koppen van stuwwallen. Meestal zijn gebieden van type A redelijk uitgestrekt.

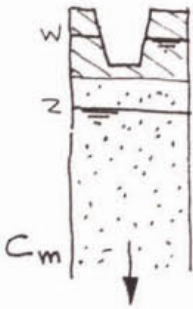
**Type B: "De Dekzandrug"**

Gebieden van type B kennen zowel wegzijging als lokale afstroming; de laatste vrijwel alleen in de winter en het voorjaar. Een weerstandbiedende laag nabij het maaiveld ontbreekt (een open watervoerend pakket), waardoor de perifere weerstand gering is. De grondwatertrap varieert van III tot VI.

De hoger liggende dekzanden van Pleistoceen Nederland bestaan voor een belangrijk deel uit type B. In de richting van beekdalen gaat type B over in type E.

**Type C: "Het keileemplateau"**

Gebieden van type C zijn relatief hoog gelegen, maar de wegzijging wordt beperkt door een ondiepe storende laag. In de winter ontstaat daar vaak een schijnspiegel op, waardoor een relatief intensief ontwateringsstelsel is ontstaan of aangelegd. Een belangrijk deel van het neerslagoverschot in de winter wordt lokaal afgevoerd. In de zomer staat het grondwater veel dieper, de grondwatertrap is meestal V. De perifere weerstand hangt af van de doorlatendheid boven de storende laag (de perifere afvoer door de storende laag zal gering zijn, anders

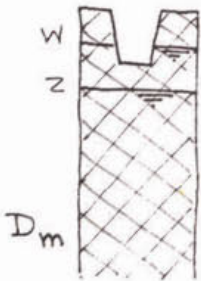
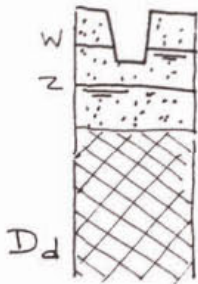


was er geen schijnspiegel!). Om deze reden is onderscheid gemaakt tussen subtypen Cd (met een storende laag op enige diepte, waarboven perifere afvoer kan plaats vinden) en Cm (met de storende laag vlak bij maaiveld, waardoor perifere afvoer moeilijk is).

De hoger gelegen keileemgebieden van noordoost Nederland zijn een goed voorbeeld van type C.

#### Type D: "Geïsoleerde gebieden"

Gebieden met een (nagenoeg) ondoorlatende ondergrond kennen om die reden wegzijging noch kwel. Het worden wel geïsoleerde gebieden genoemd. Het volledige neerslagoverschot moet lokaal worden afgevoerd. Vanwege de ondoorlatende ondergrond is de hoogteligging en het systeemverval niet van belang. De grondwaterstand is nabij maaiveld, grondwatertrap I of II. De perifere weerstand hangt af van het watervoerend vermogen boven de ondoorlatende laag; daarom worden typen Dd en Dm onderscheiden, op dezelfde manier als voor type C. Hoger liggende gebieden kunnen een schijnspiegel hebben, bijvoorbeeld onder vennen. Polders met een zeer dichte afdekking vallen ook onder type D. Daar is uiteraard geen schijnspiegel aanwezig.

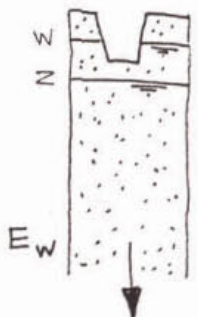


#### Type Ew en Ek: "De Beekdalflank"

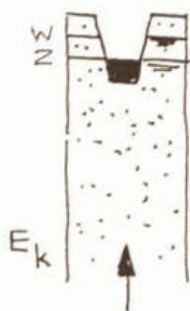
Gebieden van type E zijn gelegen op de grens tussen wegzijg- en kwelgebieden, vaak in de vorm van een strook langs die grens. De lokale afvoer varieert van nagenoeg nul tot zeer hoog. De wegzijging (voor type Ew) kan waarden aannemen van nul tot het volledige neerslagoverschot. De kwel (voor type Ek) kan extreem hoog zijn.

Op de grens van Ew en Ek is de capaciteit van het watervoerend pakket geheel benut: wegzijging kan niet meer plaats vinden en het volledige neerslagoverschot vindt zijn weg naar een ontwateringsstelsel.

Omdat het neerslagwater een relatief korte weg in de grond heeft afgelegd (zogenaamde laterale kwel), zal vaak nog geen basenverzadiging







hebben plaatsgevonden. De grondwatertrap kan vrijwel alle waarden aannemen, voor Ew uiteraard dieper dan voor Ek. Een weerstandbiedende laag nabij het maaiveld ontbreekt (een open watervoerend pakket), waardoor de perifere weerstand gering is. Type E wordt aangetroffen langs de onderrand van gebieden waar wegzijging plaats vindt. Type E wordt gevormd door ondiepe grondwatersystemen van geringe omvang, die gelegen zijn op diepere systeemtakken (bij voorbeeld van B naar G).

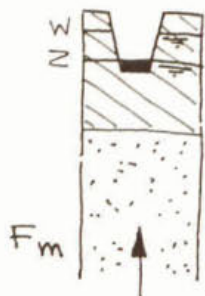
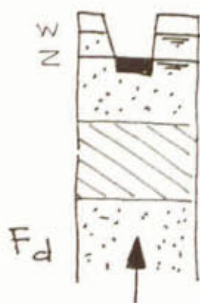
#### Type Er: "Salland"

Niet altijd zijn gebieden met type E gelegen in een smalle strook langs de grens van wegzijging en kwel. De zone waar de capaciteit van het watervoerende pakket geheel is benut kan zeer uitgestrekt zijn, zoals bijvoorbeeld in Salland. De regionale helling van het maaiveld komt overeen met de konstante helling van het grondwater. Plaatselijk kan lokale wegzijging plaatsvinden op hogere delen en lokale kwel op lagere plaatsen. De perifere weerstand is gering. Het geheel van deze lappendeken van gebiedjes Ew en Ek wordt als type Er (E-regionaal) gedefiniëerd. Het bestaat uit een groot aantal subsystemen, vaak alleen in de winter, gelegen op een veel groter systeem.



#### Type F: "De Polder"

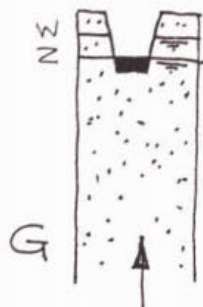
Kwelgebieden met een matige kwelflux vanwege een afdekkende minder doorlatende laag zijn van het type F. Het ontwateringsstelsel is vrij intensief, vaak met een beheerst peil en door mensenhand aangelegd of geïntensiveerd. De meest voorkomende grondwatertrap is II. De perifere weerstand hangt af van het watervoerend vermogen boven de weerstandbiedende laag; daarom worden typen Fd en Fm onderscheiden, op dezelfde manier als voor type C. Type F kan in vrij uitgestrekte gebieden voorkomen, vanwege de kwelverdelende werking van de afdekkende laag.



**Type G: "Het Beekdal"**

Wanneer geen afdekkende laag aanwezig is boven een watervoerend pakket zal kwel uittreden op plaatsen waar de helling van het grondwatervlak abrupt verandert. het maaiveld vertoont daar dan ook een "knik". De transportcapaciteit van het watervoerend pakket neemt af en er moet dus kwel uittreden. Type G is gereserveerd voor situaties waar de kwel van enige afstand wordt aangevoerd ("diepe kwel"), in tegenstelling tot type Ek. Type G kent een grondwatertrap I of II. Een weerstandbiedende laag nabij het maaiveld ontbreekt waardoor de perifere weerstand gering is.

Gebieden met type G zijn over het algemeen als stroken aanwezig, bijvoorbeeld langs beken, of op plaatsen waar beken ontspringen.



### 3.3 Toekennen van de typologie in concrete situaties

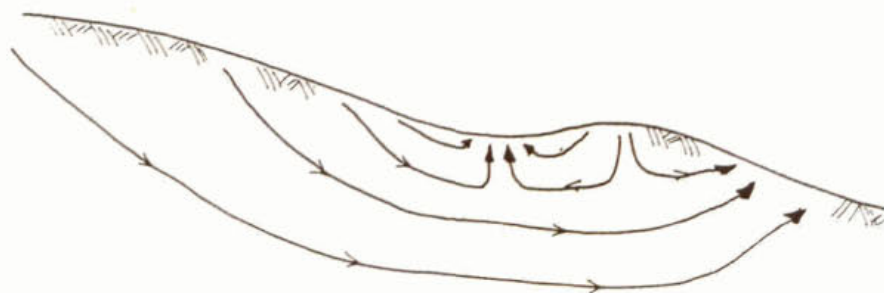
De eerste ingang voor de toekenning wordt gevormd door de bodemopbouw. Bodemvorming is een langdurig proces en hangt sterk af van de hydrologische situatie. De bodemopbouw is daarom een goede aanwijzing voor de historische hydrologische situatie, ook wanneer de situatie sindsdien is gewijzigd. In bijlage G is aangegeven welke grondsoorten voor kunnen komen per hydrologisch type. De grondsoorten komen overeen met de standaard indeling van de bodemkaarten van Stiboka/ Staring Centrum. Deze bodemkaarten zijn een belangrijk hulpmiddel bij typetoekenning.

Ook kan de grondwatertrap, de afvoerrelatie en de lokale afvoer in de oorspronkelijke situatie (rond 1960) onderscheidend zijn. Hulpmiddelen daartoe zijn aangegeven in bijlage H en paragraaf 2.2.

Tenslotte is de hoogteligging in het afstromingsdiagram van belang voor het toekennen van het type. Daartoe moeten bijbehorende wegzijg- en kwelgebieden worden onderkend via een stromingspatroon. Dat stromingspatroon kan bepaald worden met een zogenaamde "systeemanalyse", zoals die landelijk is uitgevoerd door NITG en voor een aantal locaties gedetailleerd is

uitgewerkt. Wanneer een systeemanalyse is uitgevoerd, moet daar natuurlijk dankbaar gebruik van worden gemaakt.

Met enige voorzichtigheid is een rudimentaire systeem-analyse ook af te leiden uit de ruimtelijke verdeling van wegzijg- en kwelgebieden. Stroomlijnen (of in termen van stroombuizen van enige omvang: systeem-takken) kunnen elkaar immers niet kruisen, maar liggen "genest" op elkaar. Zoals een in elkaar gestapelde pannenset.



Figuur 12: Geneste subsystemen

Wegzijg- en kwelgebieden onmiddellijk ter weerszijden van de grens tussen wegzijging en kwel zijn dus met elkaar verbonden door een klein oppervlakkig systeem, zoals in figuur 12 is geschetst. Daaronder liggen de stroombuizen die verder van elkaar weg gelegen wegzijg- en kwelgebieden met elkaar verbinden. In de meeste gevallen is langs deze weg wel aan te geven welke wegzijg- en kwelgebieden "bij elkaar horen". Zelfs zouden eenvoudige berekeningen gemaakt kunnen worden van de wegzijg- en kweldebieten, die immers per systeemtak aan elkaar gelijk moeten zijn.

Het systeemverval is gelijk aan het verschil in grondwaterstand tussen de uiteinden van de stroomtak. De systeemweerstand, zoals aangegeven in bijlage A, zal over het algemeen groter zijn naarmate het wegzijg- en kwelgebied verder van elkaar weg zijn gelegen (voor wegzijgsituaties zeer globaal enkele dagen per m

afstand). Voor uitgestrekte, diepe grondwatersystemen is de systeemweerstand  $S$  groot; voor oppervlakkige systemen van geringe omvang (type E) is  $S$  klein.

Zoals blijkt uit het bovenstaande, is typetoekenning niet mogelijk wanneer alleen het te typeren punt wordt beschouwd. Typering is alleen mogelijk wanneer een verband wordt gelegd met de omgeving en het grondwatersysteem.

#### 4 MAATREGELEN TEGEN VERDROGING

In de vorige hoofdstukken 2 en 3 is een systematische methode gepresenteerd waarmee een gebied kan worden getypeerd en waarmee de oorzaken van verdroging kunnen worden beoordeeld. Nadat een gebied langs die lijnen is verkend, moeten effectieve maatregelen voor herstel worden geselecteerd. Daartoe wordt in het voorliggende hoofdstuk een opsomming van allerlei maatregelen tegen verdroging gegeven. De aard van maatregelen wordt bij de lezer bekend verondersteld. De maatregelen zijn hieronder beschreven in termen van de kenmerken die ook voor de hydrologische verkenning zijn gebruikt. Daardoor wordt duidelijk welke maatregelen in welke situaties effectief zijn.

Uiteraard spelen de kosten van maatregelen een rol bij de selectie. Kosten worden hier niet vermeld. Globale kostengegevens zijn opgenomen in het NOV-14 rapport, terwijl het NOV-12.4 rapport er specifiek aan is gewijd.

##### 4.1 Conserveren van grondwater

Met het conserveren van grondwater wordt bedoeld: het belemmeren van de afstroming van grondwater in het natuurgebied naar oppervlaktewater. Deze maatregelen hebben uiteraard alleen zin als er nog lokale afstroming resteert (wanneer deze niet volledig is verdwenen onder invloed van de verdrogingsoorzaak).

##### 4.1.1 **Verhoging van het slootpeil**

Het opzetten van het peil van het plaatselijke oppervlaktewater komt neer op het verhogen van de lokale drainagebasis. Peilverhoging wordt ook bereikt door verondiepen van vrij uitstromende sloten.

Het grondwaterpeil zal omhoog komen. Bij een diepe grondwaterstand zal het grondwater vrijwel evenveel omhoog komen als het slootpeil. Bij een ondiepe grondwaterstand zal deze de peilverhoging minder volgen. Overigens is het natuurlijk niet zo dat elke peilverhoging gehandhaafd kan worden. Bij een te grote

peilverhoging zal de lokale afvoer geheel verdwijnen. Dat is met name het geval wanneer de perifere weerstand van het natuurgebied gering is. Bij een geringe verhoging zal dan alle lokale afvoer omgezet zijn in perifere afvoer, en de grondwaterstand zal niet verder stijgen. De stuw staat dan droog. Als nevenmaatregel moet de perifere weerstand worden verhoogd (par. 4.2) of moet water worden aangevoerd (par. 4.5).

Verhoging van het peil kan vernatting van de omgeving veroorzaken, des te meer naarmate de oorspronkelijke lokale afvoer groter was en de perifere weerstand lager.

Opstuwen is geen goede maatregel wanneer kwel in de wortelzone moet komen (ter reparatie van "slootkwel"). Verondiepen van de sloten tot greppels kan dan wel, maar een lokale afstroming ter grootte van het neerslagoverschot moet behouden blijven. Een lage perifere weerstand kan de maatregel volledig frustreren, doordat kwel niet tot maaiveld komt of zelfs helemaal niet terugkeert.

#### 4.1.2 Dichten van sloten

Door het dichten van sloten wordt de drainageweerstand verhoogd. Het is alleen zinvol als er nog een redelijke lokale afvoer over is. Ook hier kan een lage perifere weerstand de maatregel frustreren (het grondwater komt nauwelijks omhoog) en kan vernatting van de omgeving optreden.

Wanneer kwel in de wortelzone moet komen zal ook hier begreppeld moeten worden, ten behoeve van afvoer van het neerslagoverschot. Een lage perifere weerstand kan ook hier de maatregel volledig frustreren.

#### 4.1.3 Verhogen van de stromingsweerstand in sloten

De stromingsweerstand kan verhoogd worden door vernauwing van het profiel, verondiepen, door het achterwege laten van onderhoud of het opnieuw toelaten van meandering. Overigens heeft de maatregel soortgelijke effecten als verhoging van het slootpeil.

#### 4.1.4 **Verhogen van de berging in oppervlaktewater**

Conservering kan ook bereikt worden door het vergroten van de oppervlaktewaterberging door de aanleg van een groter oppervlak aan oppervlaktewater of van een overstromingsgebied (voorkomen van versnelde afvoer). Waterberging is groter in oppervlaktewater dan in (waterverzadigde) grond. Tevens zal de fluctuatie van de aanliggende grondwaterstand worden verminderd. Over het algemeen zal de maatregel samen gaan met peilverhoging.

#### 4.1.5 **Kunstmatige infiltratie van neerslag**

Neerslag wordt in dat geval niet afgevoerd door het riool, maar komt ten goede aan het neerslagoverschot in stedelijk gebied. Het is een algemene maatregel, meestal niet gericht op een specifiek natuurgebied.

#### 4.2 Verhogen van de perifere weerstand

Pogingen tot peilverhoging in het natuurgebied kunnen gefrustreerd worden doordat een belangrijke perifere afstroming naar de omgeving op gang komt. Het grondwater in het natuurgebied komt dan nauwelijks omhoog. Omdat de oorzaak ligt in een lage perifere weerstand zou die misschien kunstmatig verhoogd kunnen worden.

##### 4.2.1 **Bufferzone**

De mate waarin een (verbreding van de) bufferzone invloed heeft op de perifere weerstand kan bepaald worden met de hulpmiddelen in bijlage C.

##### 4.2.2 **Schermen**

Een konstruktief scherm zal waarschijnlijk alleen haalbaar (vanwege de kosten) zijn in een ondiep freatische watervoerend pakket, en dan nog alleen als de weerstand  $c$  van de scheidende aanmerkelijk is (zie bijlage C).

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

De perifere weerstand is relatief gering voor kleine en langgerekte gebieden (de verhouding oppervlakte/omtrek is daar ongunstig). Zie bijlage C. Bij voorkeur zouden dus grotere natuurgebieden moeten worden ontwikkeld. Landbouwenclaves met een lager peil zijn ongunstig en zouden moeten worden uitgekocht.

#### 4.3 Peilverhoging in de omgeving

Wanneer het grondwater in de omgeving ook wordt opgezet, zal minder perifere afstroming op gang komen.

##### 4.3.1 **Alternatief bouwplan**

De perifere afvoer is natuurlijk kleiner naarmate het peilverschil geringer is. Daarom is peilverhoging in de (landbouw)omgeving aantrekkelijk, uiteraard alleen als de perifere weerstand laag is. Vanwege de resulterende vernatting zou op een alternatief bouwplan (andere gewassen) kunnen worden overgegaan. Een half-natuurlijke bufferzone is eigenlijk ook een alternatief bouwplan.

##### 4.3.2 **Ruimtelijke optimalisatie**

Het peil in een landbouwgebied is regelmatig afgestemd op de laagste delen. Die zouden kunnen worden geïsoleerd en onderbemalen waardoor het peil in de rest van het gebied omhoog kan zonder vernattingsschade. De maatregel is overigens kostbaar wanneer de perifere weerstand van het onderbemalen gebied gering is. Als alternatief zouden de vernatte lage delen kunnen worden gebruikt voor natuurontwikkeling.

##### 4.3.3 **Optimalisatie in de tijd**

Deze maatregel wordt ook wel operationeel peilbeheer genoemd. In een eenvoudige vorm hangt het overgangsmoment naar het zomerpeil af van de weersgesteldheid.



#### 4.3.4 **Beperken van de berekening uit grondwater**

Deze maatregel heeft een uitwerking op de grondwaterstand in het groeiseizoen en nauwelijks op die in het vroege voorjaar.

#### 4.4 Aanpassen van het waterafvoersysteem

Hierbij gaat het om leidingen voor de afwatering, en niet voor de ontwatering zoals in de paragrafen 4.1 en 4.3.

##### 4.4.1 **Opstuwen**

Opstuwen vermindert/vertraagt de afwatering en daarmee indirect de ontwatering. Een nadeel van opstuwen is de afname van de stroomsnelheid, die voor het aquatisch leven ongewenst is. De overwegingen van paragraaf 4.1.1 zijn hier ook geldig.

##### 4.4.2 **Verondiepen van leidingen**

Hier blijft de stroomsnelheid op peil. Compenserende afvoercapaciteit kan in de breedte van de watergang gezocht worden.

##### 4.4.3 **Accepteren van overstroming**

Als overstroming geaccepteerd kan worden is verbreding van de watergang (zie par. 4.4.2) niet nodig. Soms is overstroming zelfs weer gewenst en zouden eventuele afgekoppelde bovenstroomse gebieden weer aangekoppeld kunnen worden (als de waterkwaliteit dat toelaat).

##### 4.4.4 **Berging bovenstrooms**

De verminderde afvoercapaciteit door verondieping kan ook worden geaccepteerd met een verminderde piekafvoer. Deze zou bereikt kunnen worden door de aanleg van berging bovenstrooms (bij voorbeeld door conservering of door het toelaten van inundatie).

#### 4.5 Wateraanvoer

Vasthouden van gebiedseigen water ligt het meest voor de hand ter bestrijding van verdroging. Wanneer dat er niet (meer) is, of in onvoldoende mate, kan kunstmatige aanvoer overwogen worden. Een verkeerde waterkwaliteit kan echter vaak meer kwaad dan goed doen: "liever nog verdroging dan vermesting", zegt men wel eens.

##### 4.5.1 **Terugpompen van perifere afvoer**

Wateraanvoer moet bij voorkeur "gebiedseigen" zijn. Het opvangen van de perifere afvoer in een kwelsloot rond het natuurgebied zou daarin kunnen voorzien. Water uit de kwelsloot wordt teruggepompt naar het gebied, onder voorwaarde dat het peil in de kwelsloot niet onder dat van de omgeving zakt. De winterafvoer uit het natuurgebied zou eventueel in geïsoleerde bassins kunnen worden bewaard voor het voorjaar en de zomer.

##### 4.5.2 **Aanvoer uit lokaal grondwater**

Aanvoer uit lokaal grondwater zou wellicht zelfs voor kwelwater in de wortelzone kunnen zorgen als af en toe wordt geïnundeerd. Met een handige plaatsing van de lokale onttrekking is misschien vernatting van de omgeving tegen te gaan. Het opgepompte water mag meestal niet verontreinigd zijn door landbouwuitspoeling.

##### 4.5.3 **Aanvoer van elders**

De kwaliteit van aanvoer van elders kan vaak verbeterd worden door schoon water geïsoleerd te houden van watergangen van ongewenste kwaliteit. Overigens komt het kwaliteitsbezwaar meestal uit de hoek van de aquatische ecologie: het aangevoerde water zal immers maar weinig de aanliggende percelen indringen, en in de winter weer worden uitgespoeld. Het grondwater wordt niet zozeer gevoed, maar opgestuwd door de hogere peilen van het oppervlaktewater.

Recentelijk is verdund ijzerhoudend spoelwater van drinkwaterpompstations gebruikt als inlaatwater met kweleigenschappen.

#### 4.6 Vermindere van de invloed van onttrekkingen

Grondwateronttrekkingen reduceren de uitstroming van grondwater naar oppervlaktewater, hetgeen gepaard gaat met een daling van de grondwaterstand en de kweldruk. De onttrekking ligt misschien op een onhandige plaats en kan beter verplaatst worden. Of het debiet moet worden verminderd.

##### 4.6.1 **Reduceren van de onttrekking**

Reductie kan worden opgevangen door extra onttrekking elders of door aanvullende capaciteit uit oppervlaktewater. Door waterbesparing kunnen onttrekkingen ook worden verminderd.

Diepinfiltratie nabij de onttrekking komt neer op een per saldo reductie van de onttrekking.

##### 4.6.2 **Verplaatsen van de onttrekking**

Onttrekkingen kunnen ongunstig gelegen zijn ten opzichte van natuurgebieden, zoals is uitgelegd in par. 2.4. Op een andere lokatie doet de onttrekking wellicht minder kwaad.

##### 4.6.3 **Compenseren van de onttrekking**

In par. 2.4 is uitgelegd dat een onttrekking "langs de makkelijkste weg compensatie zoekt" in de vorm van verminderde lokale afvoer. Die makkelijkste weg is nog makkelijker te maken door kunstmatig natte gebieden te creëren nabij de onttrekking: oppervlakkige infiltratie. Het inlaatwater moet voldoen aan de eisen van het infiltratiebesluit.

#### 4.7 Verloofen

Het neerslagoverschot neemt af als de verdamping toeneemt, door het vervangen van heide door naaldbos bij voorbeeld. Dat moet misschien worden teruggedraaid. Een overzicht van het neerslagoverschot voor verschillende vormen van landbouw en natuurlijke begroeiing is gegeven in bijlage I. Voor succesvol verloofen moet tenminste een flink aandeel zwaar naald-

bos aanwezig zijn. Het vervangen daarvan kan ook zelf een natuurdoel zijn.

#### 4.8 Het verlagen van het maaiveld

Het verlagen van het maaiveld om de grondwaterstand dichterbij te krijgen is alleen het overwegen waard als tevens een verrijkte bovenlaag moet worden verwijderd.

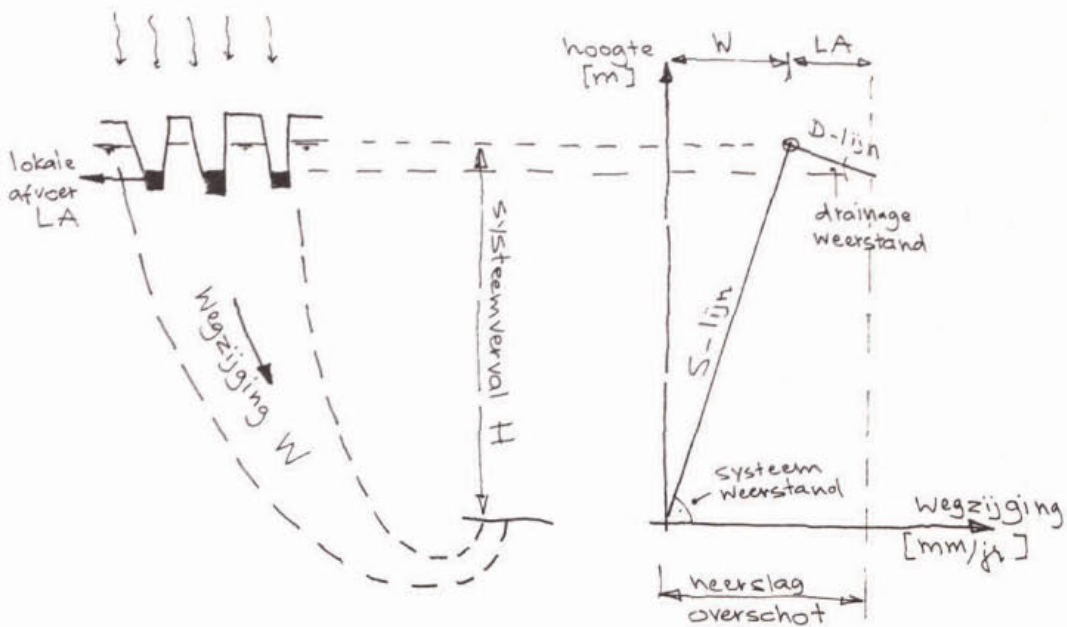
#### 4.9 Selectie van maatregelen

Voor de selectie van maatregelen is geen systematiek voorhanden in de vorm van een beslisboom of iets dergelijks. Pogingen daartoe bleken ingewikkeld en tegelijkertijd triviaal. Aan de hand van de bovengegeven omschrijvingen is echter voor concrete situaties wel duidelijk of een maatregel effectief is of niet. In eerste instantie kunnen niet-effectieve maatregelen worden geëlimineerd. Uit de overblijvende maatregelen worden veelbelovende geselecteerd, waarvoor een ruwe kostenindicatie moet worden opgesteld. Parallel aan dit proces moeten praktische en bestuurlijke aspecten goed in het oog worden gehouden.



BIJLAGE A: AFSTROMINGSDIAGRAM

In figuur A.1 is een wegzijgingssituatie weergegeven, met daarnaast (het eerste kwadrant van) het afstromingsdiagram. Het neerslagoverschot is gelijkmatig verdeeld over het jaar, zonder seizoenen: een stationaire schematisatie.

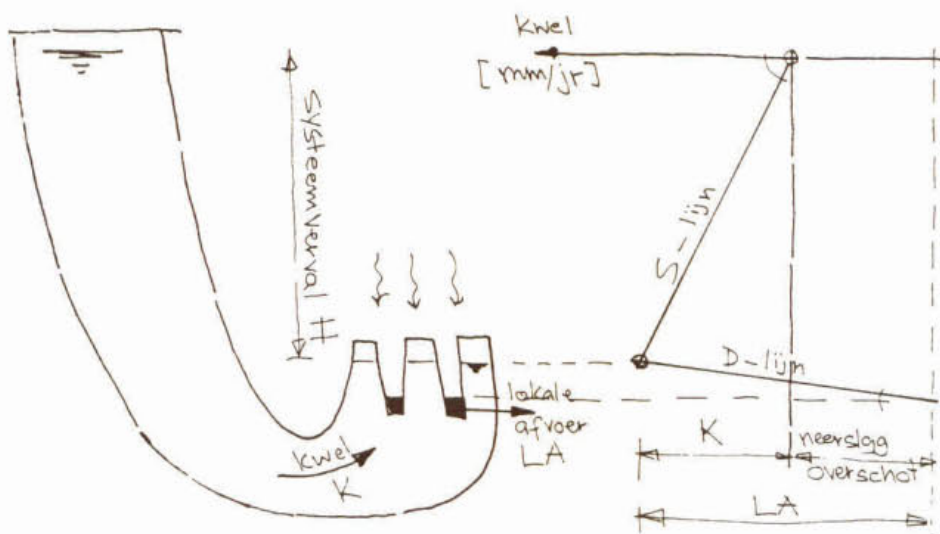


Figuur A.1: Wegzijgingssituatie met afstromingsdiagram.

Een deel van het neerslagoverschot stroomt lokaal af naar een slootstelsel met een (lineair aangenomen) drainageweerstand. De lokale afvoer, uitgedrukt in mm/jaar, is evenredig met de hoogte van het grondwater boven de lokale drainagebasis, weergegeven door de zogenaamde D-lijn. De evenredigheidsconstante is de drainageweerstand en is gelijk aan de helling van de D-lijn. Het resterende deel van het neerslagoverschot zijgt weg naar het diepere grondwater en komt elders weer aan de oppervlakte in een kwelgebied. In de figuur is een stroombuis tussen twee stroomlijnen getekend. De wegzijging, uitgedrukt in mm/jaar, is evenredig met de hoogte van het grondwater in het wegzijggebied boven het niveau van het kwelgebied, weergegeven door de zogenaamde S-lijn. De evenredigheidsconstante noemen we de "systeemweerstand" en is gelijk aan de helling van

de S-lijn. De grondwaterstand ligt op het snijpunt van de D-lijn en de S-lijn. De lokale afvoer en de wegzijging zijn samen gelijk aan het neerslagoverschot.

Eenzelfde betoog kan worden opgesteld voor een kwelgebied. De lokale afvoer is hier echter gelijk aan het neerslagoverschot plus de kwel. Het (derde kwadrant van het) afstromingsdiagram is weergegeven in figuur A.2.



Figuur A.2: Kwelsituatie met afstromingsdiagram.

De stroombuis is de figuren A.1 en A.2 zou dezelfde kunnen zijn. Het instromende wegzijgdebiet is dan natuurlijk gelijk aan het uitstromende kweldebiet en ze ondervinden dezelfde weerstand. Omdat de wegzijging resp. de kwel in het afstromingsdiagram zijn uitgedrukt in mm/jaar (en niet als het totale stroombuisdebiet in  $m^3/jaar$ ) is de systeemweerstand aan de wegzijgzijde niet gelijk aan de systeemweerstand aan de kwelzijde. Dat komt omdat de doorsneden van de buis aan beide zijden niet noodzakelijkerwijs gelijk zijn. Stroombuizen hebben over het algemeen een groot intrekgebied en een veel kleiner kwelgebied (met uiteraard een evenredig hogere kwelintensiteit). De systeemweerstand is daarom aan de wegzijgzijde over het

algemeen groter dan aan de kwelzijde (evenredig met de respectievelijke stroombuisdoorsneden).

De helling van de D-lijn is gelijk aan de algemeen bekende drainageweerstand. De helling van de S-lijn is gelijk aan de systeemweerstand, die beschouwd kan worden als een soort drainageweerstand maar dan op de schaal van de afstroming van het wegzijggebied naar het kwelgebied. Ook de systeemweerstand wordt uitgedrukt in dagen. De waarde van de systeemweerstand hangt af van de doorstroomde grond in de stroombuis en van de stroomsnelheden in de buis. Over het algemeen is de waarde van de systeemweerstand groter naarmate de stroombuis langer is. Voor de wegzijggebieden van Pleistoceen Nederland komt de waarde nogal eens overeen met enkele dagen per meter afstand tussen de uiteinden van de stroombuis, maar dat is zeker geen vaste regel. Korte stroombuizen komen overeen met oppervlakkige kleine grondwatersystemen; daaronder liggen diepere, grote systemen met langere stroombuizen en dus over het algemeen een grotere systeemweerstand.

In het afstromingsdiagram zijn voor een gegeven situatie een aantal kenmerken aangegeven:

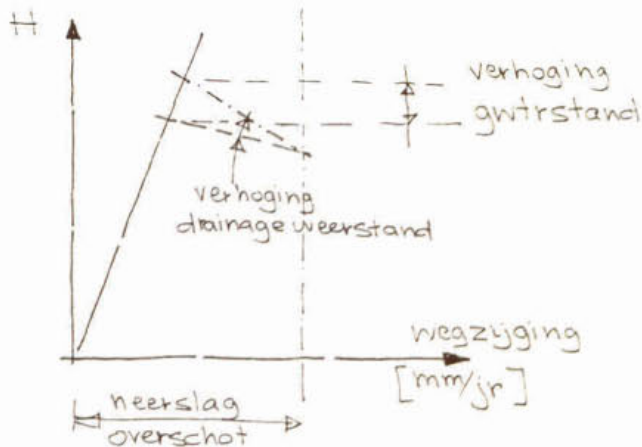
- de relatieve hoogteligging;
- de grootte van de wegzijging resp. kwel;
- de grootte van de lokale afvoer;
- de waarde van de systeemweerstand.

Met twee van deze kenmerken kan een punt in het diagram al worden bepaald; de andere twee kunnen dus als controle worden gebruikt. Omdat het hier een verkennende methode betreft is dat geen overbodige luxe. De kenmerken zullen immers meestal alleen in orde van grootte bekend zijn. De relatieve hoogteligging (boven het bijbehorende kwelgebied) kan uit de topografische kaart worden verkregen. De lokale afvoer is ruwweg gerelateerd aan de slootafstand. De bodemsoort en de oorspronkelijke vegetatie geeft een indicatie voor wegzijging of kwel. De systeemweerstand voor wegzijgingssituaties ligt nogal eens in de orde



van grootte van enkele dagen per meter afstand tussen wegzijg- en kwelgebied (voor kwelsituaties een factor 3 tot 10 lager).

Tenslotte nog een korte uitleg over de betekenis van de systeemweerstand bij veranderingen in grondwaterstand. Wanneer bij een ingreep het stroomlijnenpatroon niet verandert en de ligging en afmetingen van de stroombuis dus gelijk blijven, zal ook de systeemweerstand gelijk zijn. Globaal is dat het geval wanneer de grondwaterstand in een uitgestrekt wegzijggebied een geringe verhoging ondergaat (bij voorbeeld door verhoging van de drainageweerstand), terwijl de grondwaterstand in het kwelgebied gelijk blijft. De nieuwe grondwaterstand in het wegzijggebied ligt dan weer op de S-lijn, zoals in figuur A.3 is weergegeven.



Figuur A.3: Grootschalige verhoging van de drainageweerstand in een wegzijggebied.

BIJLAGE B: ONTWATERING VAN LANDBOUWGRONDEN

Tot omstreeks 1960 bestond een globale relatie tussen de grootte van de wegzijging- of kwelflux van een gebied, de grondwaterstand en de ontwatering uitgedrukt in de drainageweerstand. Die relatie had deels een natuurlijke achtergrond, maar was ook ontstaan door kunstmatige ontwatering van te natte gronden. Hoe hoger de oorspronkelijke grondwaterstand, des te intensiever de kunstmatige ontwatering. Desondanks bleven die gronden echter relatief nat. De relatie omstreeks 1960 was ongeveer als volgt (zie ook bijlage H):

<u>wegzijging/kwel</u> <u>in mm/jaar</u>	<u>Gt</u>	<u>drainageweerstand</u> <u>in dagen</u>
W 300	VII	n.v.t.
W 150-200	III, V	400
W 50	III, IV	300
K 100	III	200
K 400	II	100
K 800	I	75

Tabel B.1: Globale relatie tussen wegzijging/kwel, grondwaterstand en drainageweerstand, zoals die was rond 1960.

De zeer droge zandige gebieden waren niet geschikt voor landbouw; daar bleef droge natuur bestaan of werden productiebossen aangelegd. De zeer natte gronden bleven bewaard als natte natuurgebieden omdat ontwatering voor landbouwgebruik niet rendabel was.

In de afgelopen decennia is de ontwatering van relatief natte landbouwgronden aanmerkelijk verdiept, met als oogmerk minder structuurbederf door zware werktuigen in het voorjaar. Daarom zijn nu drogere Gt's ontstaan door intensievere ontwatering, ongeveer als volgt:

<u>wegzijing/kwel in mm/jaar</u>	<u>Gt</u>	<u>drainageweerstand in dagen</u>
W 300	VII	n.v.t.
W 150-200	IV, VI	400
W 50	IV	300
K 100	IV	100
K 400	IV	< 50
K 800	IV	< 50

Tabel B.2: Globale relatie tussen wegzijing/kwel, grondwaterstand en ontwatering, situatie rond 1990.

Uiteraard is juist de GHG verlaagd. De geïntensiveerde ontwatering van de diepere Gt's heeft over het algemeen plaats gevonden door het verdiepen van sloten en het verlagen van het peil. Bij de natte Gt's is over het algemeen ondergrondse drainage aangelegd, in combinatie met peilverlaging.

Naast verdiepte ontwatering van landbouwgronden zijn ook een aantal oorspronkelijk natte natuurgebieden in gebruik genomen door de landbouw, met intensieve ontwatering.

Van de gemiddelde verlaging van de grondwaterstand kan een schatting worden gemaakt op basis van de oorspronkelijke grondwatertrap. De basis van die schatting is, dat steeds naar een optimale grondwaterstand (ongeveer overeenkomend met Gt IV) is toegewerkt.

Gt	I	0,5 m
	II	0,4
	III	0,3
	IV	0,1
	V	0,1

Tabel B.3: Verlaging van de grondwaterstand voor landbouwgebieden, uitgaand van de oorspronkelijke grondwatertrap.

Een lager peil kan ook veroorzaakt zijn door een verdiepte afvoerleiding. Vanwege het mindere grondgebruik is een toename van de maatgevende afvoer in het verleden gezocht in de diepte en niet in de breedte van watergangen. Voor het voormalige en huidige minimale peil van de watergang is geen vuistregel te geven; deze moeten uit leggergegevens worden gehaald. Voor de maatgevende afvoer is wel een globaal overzicht te geven. Op basis van de oorspronkelijke (omstreeks 1960) grondwatertrap geldt ongeveer:

Gt	I,II	13 mm/dag
	III	10
	IV,V	8
	V*,VI	6
	VII	2

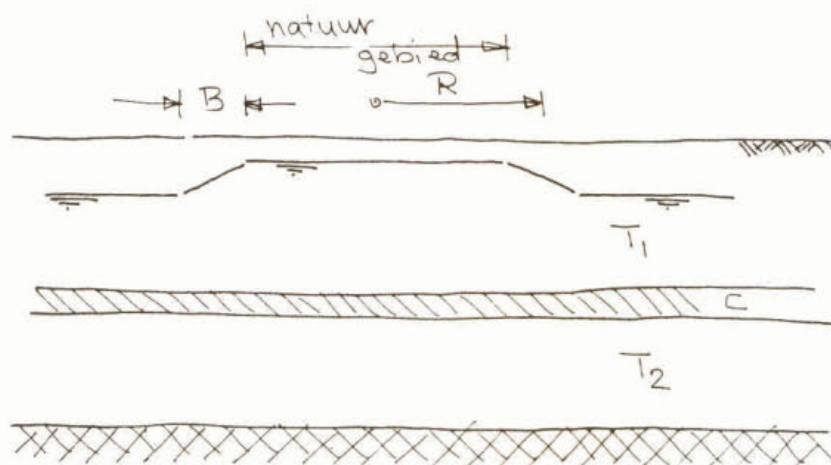
Tabel B.4: Maatgevende afvoer als functie van de grondwatertrap in 1960.

Gronden die inmiddels dieper zijn ontwaterd hebben een diepere Gt, maar de maatgevende afvoer is maar weinig verlaagd door de relatief snelle drainageafvoer. De oorspronkelijke Gt rond het jaar 1960 (of de daaraan gerelateerde gemiddelde afvoer in mm/jaar) moet daarom gebruikt worden voor een schatting van de maatgevende afvoer, en niet de huidige Gt.

BIJLAGE C: PERIFERE WEERSTAND

De perifere afvoer uit een gebied is gelijk aan het peilverschil met de omgeving gedeeld door de perifere weerstand, volgens de definitie in paragraaf 2.3 van de hoofdtekst. De perifere weerstand (en dus ook de afvoer) hangt niet alleen af van de opbouw van de ondergrond, maar ook van de omtrek en de oppervlakte van het gebied. Kleine en langgerekte gebieden hebben minder weerstand. Hieronder volgen enkele hulpmiddelen, waarmee de perifere weerstand in de meeste gevallen geschat kan worden. De formules en grafiek zijn opgesteld voor een cirkelvormig gebied. Voor andere gebiedsvormen moet een "representatieve straal" worden aangenomen die gelijk is aan  $(2 * \text{oppervlak}/\text{omtrek})$ .

In figuur C.1 is een schets van de situatie aangegeven.



Figuur C.1: Afmetingen en bodemopbouw.

Rondom het gebied is een bufferzone met een breedte B gedacht, waarin de freatische grondwaterstand lineair verloopt van die in het natuurgebied naar die van de omgeving. Er zijn twee watervoerende pakketten, gescheiden door een weerstandbiedende laag.

Wanneer de weerstand  $c$  van de scheidende laag zeer hoog is, zal alleen perifere afvoer plaats vinden door het

freatische pakket. De perifere weerstand is dan gelijk aan:

$$P_{\text{hor}} = R \cdot B / (2T_1)$$

waarbij  $R$  = straal van het gebied, gemeten tot halverwege de bufferzone;

$B$  = breedte van de bufferzone;

$T_1$  = doorlaatvermogen van het freatische watervoerend pakket.

Wanneer het freatische pakket een zeer gering doorlaatvermogen heeft, zal perifere afvoer alleen plaats vinden via de scheidende laag naar het onderste watervoerend pakket. De weerstand tegen deze verticale afvoer is gelijk aan:

$$P_{\text{vert}} = \frac{c}{2\{K_1(R/\lambda) \cdot I_1(R/\lambda)\}}$$

$$\lambda = \sqrt{T_2 \cdot c}$$

$T_2$  = het doorlaatvermogen van het watervoerend pakket onder de scheidende laag;

$\lambda$  = de spreidingslengte van het onderste watervoerende pakket.

Waarden voor de Besselfuncties  $K_1$  en  $I_1$  zijn vermeld in bijlage E bij de uitleg van de formule van De Glee.

Wanneer beide bovengenoemde manieren van perifere afvoer mogelijk zijn, is de totale perifere weerstand gelijk aan:

$$1/P = 1/P_{\text{hor}} + 1/P_{\text{vert}}$$

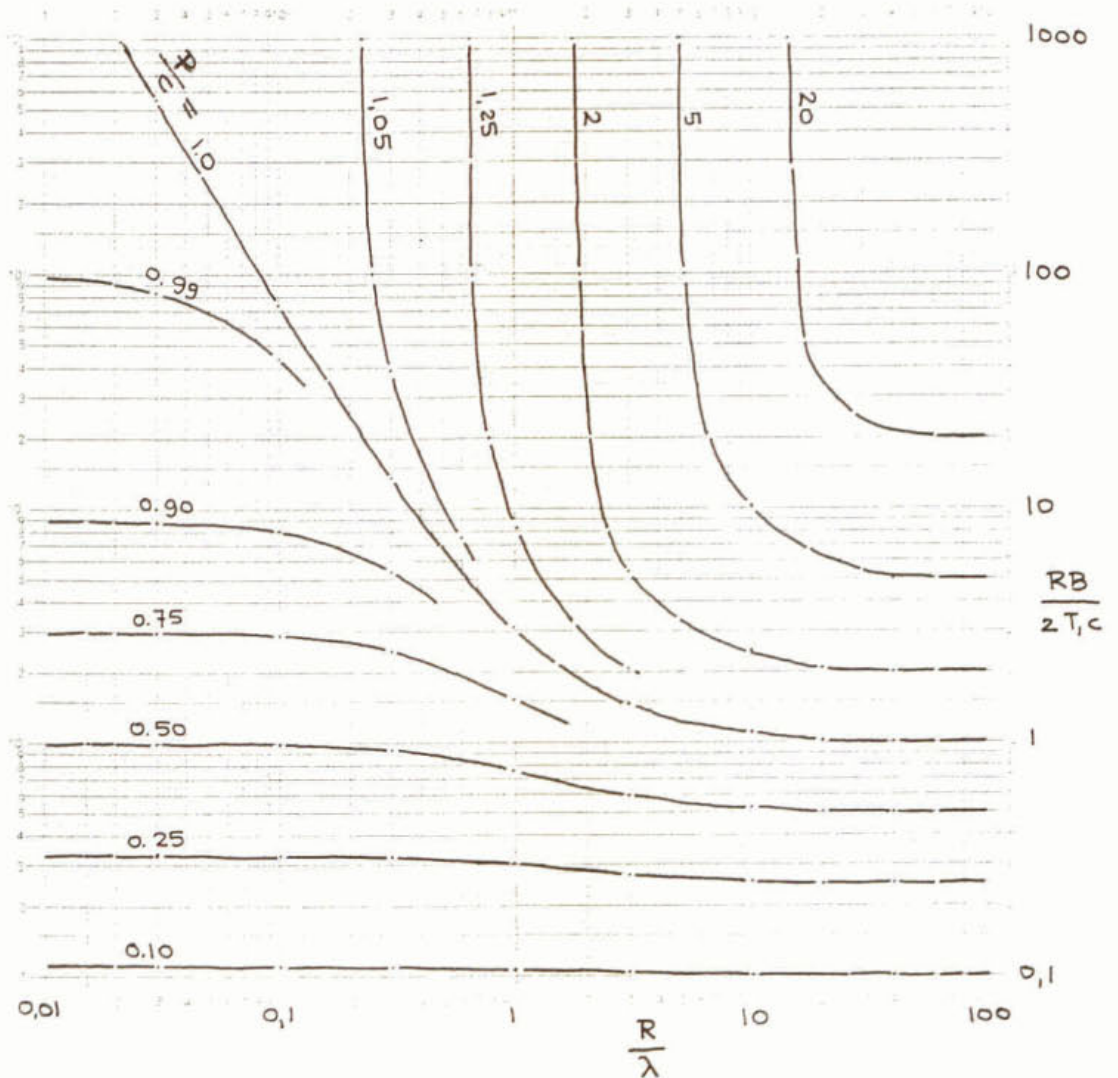
Het blijkt dat de totale perifere weerstand van cirkelvormige gebieden met een bodemopbouw zoals in

figuur C.1 in een grafiek kan worden weergegeven, zoals in figuur C.2.

Op de verticale as van de grafiek is  $RB/(2T_1c)$  uitgezet, hetgeen overeenkomt met  $P_{hor}/c$ , een dimensieloos getal.

Op de horizontale as is  $R/\lambda$  uitgezet, eveneens een dimensieloos getal.

Vervolgens kunnen waarden van  $P/c$  in de grafiek worden afgelezen.



Figuur C.2: Waarden van  $P/c$  voor cirkelvormige gebieden met bodemopbouw als in figuur C.1.

De randen van de grafiek komen overeen met bijzondere gevallen, waarvoor  $P$  direkt kan worden afgeleid:

de onderrand: de weerstand van de scheidende laag is dan zeer groot, dus  $P = P_{hor}$ .

de bovenrand: het freatische pakket is hier afwezig, dus  $P = P_{vert}$ .

de linkerrand: het onderste watervoerende pakket is in dit geval zeer ruim: de potentiaal onder de scheidende laag is dan gelijk aan de waterstand in de omgeving zodat  $P_{vert}$  gelijk is aan  $c$ . De totale weerstand is dan gelijk aan:

$$P = \frac{P_{hor} \cdot c}{P_{hor} + c}$$

de rechterrand: het onderste pakket is hier afwezig, zodat  $P = P_{hor}$ .

In de linkerbovenhoek van de grafiek is het bovenste pakket afwezig, terwijl het onderste zeer ruim is. In dat geval is eenvoudigweg  $P = c$ .

Tenslotte de rechterbovenhoek. Daar is de scheidende laag maar zeer dun (geringe  $c$ ). De grafiek is in dat geval niet geldig (omdat de bufferzone niet in het onderste pakket is meegenomen). Bij een zeer geringe  $c$  kunnen de twee watervoerende pakketten echter eenvoudig bij elkaar worden genomen en is de perifere weerstand gelijk aan:

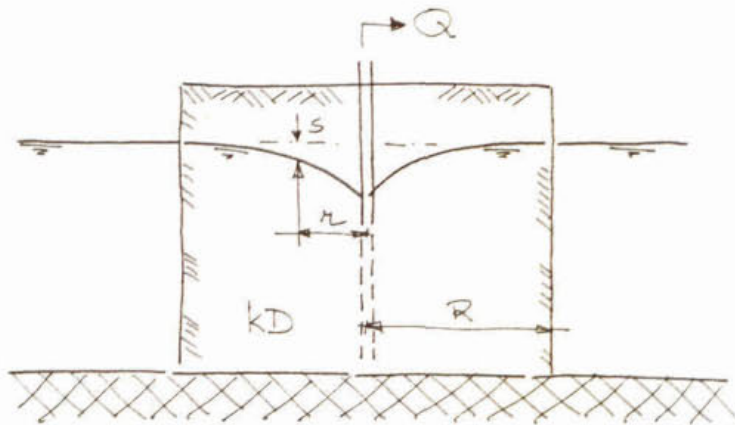
$$P = RB/2(T_1+T_2).$$

In de omgeving van de ongeldige rechterbovenhoek is de grafiek dus gelukkig niet nodig.



BIJLAGE D: FORMULE VAN DUPUIT

De formule van Dupuit beschrijft de stroming van grondwater in een watervoerend pakket vanaf een cirkelvormige rand naar het centrum. In dat centrum wordt het debiet onttrokken. Men spreekt van een cirkelvormig eiland in de zee, zie figuur D.1.



Figuur D.1: Situatie behorend bij de formule van Dupuit.

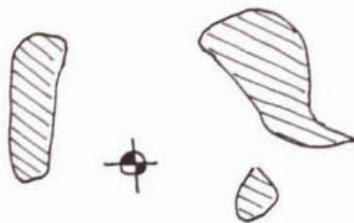
De formule van Dupuit geeft de verlaging van de grondwaterstand ten opzichte van het "zeepeil" als functie van de afstand tot het middelpunt van het eiland:

$$s = \frac{Q}{2 \pi k D} \ln \frac{R}{r}$$

Precies in het midden gaat het fout ( $s$  wordt oneindig groot), maar de onttrekking van een pompstation kan goed in beeld gebracht worden door een "put" met een straal van bij voorbeeld 200 m.

De situatie van Dupuit staat voor een onttrekking in een watervoerend pakket, die gecompenseerd wordt (zie par. 2.4) door een verminderde uitstroming van grondwater op een afstand  $R$  rond de onttrekking. Binnen die afstand is geen verminderde uitstroming te vinden omdat er geen lokale afvoer of doorgaande watergangen zijn.

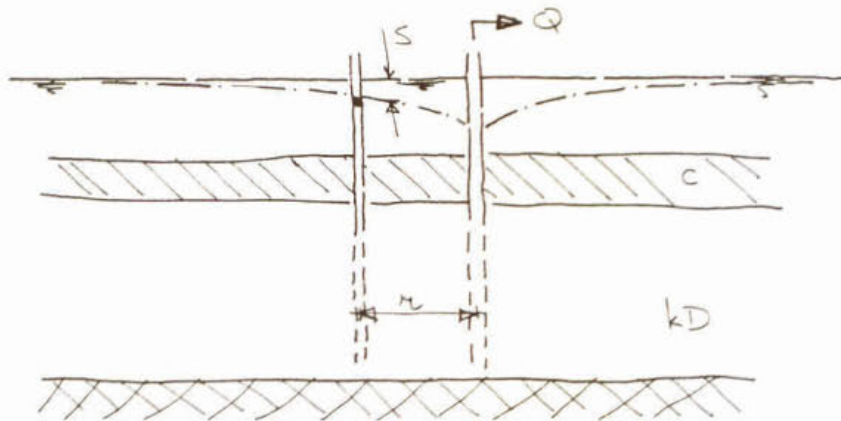
Ook wanneer de het gebied met de verminderde uitstroming niet precies cirkelvormig is geeft de formule van Dupuit een zeer goede benadering. In het voorbeeld zoals geschetst in figuur D.2 voldoet Dupuit nog heel redelijk. Alleen in extreme gevallen is het verlagingsbeeld zelfs niet bij benadering cirkelvormig te noemen.



Figuur D.2: Gebied van verminderde uitstroming is geen exacte ring, maar Dupuit is toch goed bruikbaar.

BIJLAGE E: FORMULE VAN DE GLEE

De formule van De Glee beschrijft de grondwaterstroming vanuit een meer naar een onttrekking die onder het meer ligt, met daartussen een scheidende laag. In reële gevallen zal er geen meer zijn, maar bij voorbeeld een slootstelsel met een drainageweerstand  $D$  en een vast slootpeil. Geen nood: de drainageweerstand kan eenvoudigweg bij de weerstand van de scheidende laag worden opgeteld. Wel moet het slootstelsel in alle gevallen water leveren, net als het meer; droogtrekken van de sloten maakt de formule ongeldig.



Figuur E.1: Situatie behorend bij de formule van De Glee.

De belangrijkste voorwaarde voor De Glee is dus dat er voldoende uitstroming (zie par. 2.4) beschikbaar is boven de scheidende laag. Alleen de scheidende laag is niet voldoende. De formule luidt:

$$s = \frac{Q}{2\pi kD} K_0\left(\frac{r}{\lambda}\right) \quad \text{waarin } \lambda = \sqrt{(kD \cdot c)}$$

De formule van De Glee kan gebruikt worden voor situaties waarin onder een niet te lichte scheidende laag wordt onttrokken. De verminderde uitstroming van grondwater zal dan verspreid liggen over een groot gebied, waardoor de lokale afvoer niet volledig zal verdwijnen.

Ook hier (evenals bij Dupuit) mag de formule "met enige fantasie" gebruikt worden: bij voorbeeld als niet overal of in dezelfde mate lokale afvoer beschikbaar is.

De waarden voor de Besselfunctie  $K_0(x)$  is weergegeven in tabel E.2. De waarden voor  $K_1(x) \cdot I_1(x)$  (eveneens Besselfuncties) zijn vermeld voor gebruik in bijlage C.

x	$K_0(x)$	$K_1(x) \cdot I_1(x)$	x	$K_0(x)$	$K_1(x) \cdot I_1(x)$
0.0	$\infty$	0.500	1.2	0.319	0.311
0.1	2.427	0.498	1.4	0.244	0.284
0.2	1.753	0.478	1.6	0.188	0.261
0.3	1.372	0.464	1.8	0.146	0.241
0.4	1.115	0.446	2.0	0.114	0.223
0.5	0.924	0.427	2.5	0.062	0.186
0.6	0.778	0.409	3.0	0.035	0.159
0.7	0.661	0.391	4.0	0.011	0.122
0.8	0.565	0.373	6.0	0.001	0.082
0.9	0.487	0.356	8.0	0.000	0.062
1.0	0.421	0.340	10.0	0.000	0.051

Tabel E.2: Waarde van Besselfuncties.

De daling  $s$  die met de formule van De Glee wordt berekend is die in het watervoerende pakket onder de scheidende laag. De verticale flux  $q$  door de scheidende laag is dan gelijk aan  $s/c$ . Deze flux gaat ten koste van de lokale afvoer. Met de afvoerrelatie (bij voorbeeld die van figuur 3 in de hoofdtekst) kan vervolgens de daling van de freatische grondwaterstand worden geschat.

BIJLAGE F: DALINGEN DOOR BEREGENING

Het vochttekort is de hoeveelheid water, uitgedrukt als waterschijf, die het gewas tekort komt door onvoldoende voorjaarsvoorraad, neerslag en/of capillaire opstijging. Het vochttekort hangt af van de bodemopbouw en is hoger in droge jaren dan in natte. Regelmatig komen vochttekorten van 50 mm voor, terwijl in het zeer droge jaar 1976 wel vochttekorten van 250 mm zijn opgetreden op zeer droogtegevoelige gronden.

Berekening heeft tot doel het vochttekort op te heffen door de hoeveelheid neerslag kunstmatig te verhogen. In theorie zou dus de hoeveelheid beregening gelijk kunnen zijn aan het vochttekort. Er zijn echter verliezen. Een deel van het beregeningswater verdamppt voor het de grond bereikt, vooral wanneer overdag wordt beregend. Belangrijker is dat een deel van het beregeningswater naar de diepere ondergrond wegziigt wanneer een stevige bui valt na een beregeningsgift (de boer had die bui niet zien aankomen). In de praktijk blijkt dat de beregeningshoeveelheid neerkomt op 1,5 tot 1,8 keer het vochttekort.

Bij een vochttekort van 100 mm zal dus 160 mm grondwater worden onttrokken. Onder de aanname van een bergingscoëfficiënt van 0.16 zal die onttrekking tot een daling van de grondwaterstand leiden van 1000 mm. De formule uit paragraaf 2.4 is hierop gebaseerd.

Meestal zal (lang) niet het gehele oppervlak beregend worden. Alle niet in cultuur gebrachte grond telt natuurlijk niet mee, terwijl bovendien niet alle gewassen worden beregend. Een deel van de beregening kan ook uit oppervlaktewater plaats vinden. Een beregend oppervlak uit grondwater van 75% is al extreem.

## BIJLAGE G: TYPOLOGIE EN BODEMSOORT

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

## BIJLAGE H: TYPOLOGIE, GT, LOKALE AFVOER EN WEERSTANDEN

type	omschrijving	Gt	lokale afvoer mm/jaar	drainageweerstand dagen	perifere weerstand
A	wegzijing met diepe grondwaterstand	VII*	0	n.v.t.	gering
B	wegzijing op open watervoerend pakket met afvoer in de winter	III, IV V,VI	25 - 150	> 500	gering
Cd	wegzijing met storende laag op enige diepte	V V*	200	350	gering
Cm	wegzijing met storende laag nabij maaiveld	V V*	200	350	hoog
Dd	gebied met afsluitende laag op enige diepte	I,II III	300	250	gering
Dm	gebied met afsluitende laag nabij maaiveld	I II	300	250	hoog
Ew	wegzijing, op korte afstand weer opkwellend, op open watervoerend pakket	II* III III*	0 - 300	> 250	gering
Ek	lokale kwel op open watervoerend pakket	I,II	300- 3000	< 250	gering
Er	groter gebied, lappendeken van Ew en Ek	var.	var.	var.	gering
Fd	kwelgebied met weerstandbiedende laag op enige diepte	I II III	300- 1000	< 250	gering
Fm	kwelgebied met afdekkende laag nabij maaiveld	I,II III	300- 1000	< 250	hoog
G	bovenlokale kwel op open watervoerend pakket	I II	400- 2000	< 200	gering

Opmerking: de Gt en de drainageweerstand zijn die van de oorspronkelijke (1960) situatie.

BIJLAGE I: GRONDWATERVOEDING

De gemiddelde grondwatervoeding in mm/jaar bedraagt ongeveer:

onbegroeide grond	600
mostapijt	475
heide	365
hoge grassen/kruiden	325
landbouw, gras	300
landbouw, akkerbouw	325
loofbos	300
licht naaldbos	275
zwaar naaldbos	100
gerioleerd/bebouwd	225

Door intensivering is de grondwatervoeding vanuit landbouwgebieden sinds 1950 met ruwweg 10% afgenomen.



BIJLAGE J: DE PAN

Anita van de Looij, Waterschap De Dommel

Inleiding

Om de NOV-14 methode te testen is twee dagen achtereenvolgens intensief en met verschillende disciplines (o.a. ecoloog, hydroloog, gebiedskenner, historiekenners) aan de case de Pan gewerkt. De methode houdt een snelle screening van een verdroogd gebied in, waarmee de oorzaken van verdroging en mogelijke oplossingen in beeld komen. Kortom, een hydrologische systeemverkenning. Het resultaat van deze systeemverkenning dient ter voorbereiding van het antiverdrogingsonderzoek 'de Pan' dat medio 1998 is opgestart.

De hydrologische systeemverkenning is uitgevoerd door zo veel mogelijk informatie over het projectgebied bijeen te brengen en deze gegevens te combineren tot een beeld van de huidige situatie en de ontwikkelingen uit het verleden. Dit beeld is naast het streefbeeld voor het natuurgebied gelegd (landnatuur). Hieruit volgen op te lossen knelpunten.

Aanvullende metingen en analyse zijn noodzakelijk om het verkregen beeld te bevestigen. Tot slot van deze systeemverkenning worden oplossingsrichtingen aangedragen waarnaar verder onderzoek dient te worden verricht.

De situatie van het natuurgebied de Pan is aangegeven in figuur J.1.

Kartering gebiedstypologie

Uit vegetatieopnamen is gebleken dat de Pan verdroogd is (vegetatiekartering de Pan, 1992, vegetatieopnamen plagvlakten, 1995).

De Pan bestaat uit naaldbossen, heide en een klein areaal broekbossen. Met name de broekbossen hebben actuele en potentiële natuurwaarden. Het natuurgebied wordt doorkruist door de Sterkselse Aa en het

Sterkselsch Kanaal. De Sterkselse Aa ligt grotendeels in zijn oorspronkelijke loop maar is plaatselijk rechtgetrokken. In het natuurgebied worden vier verschillende NOV 14-gebiedstypen onderscheiden: B, E<sub>k</sub>, E<sub>w</sub>, en G.



Figuur J.1: Situatie van het natuurgebied de Pan

Onderscheid is met name te vinden aan de hand van bodemkundige eenheden: de bodem in het beekdal bestaat uit Madeveengronden (type G: kwelgebied), Broekeerdersgronden (type  $E_k$  en  $E_w$  beekdalflank met kwel en wegzijging) en Gooreerdgronden met een kleidek van ca. 20 cm dikte (type  $E_k$  en  $E_w$ ). De aanwezige broekbossen liggen op de Broekeerdersgronden. De niet met klei bedekte gooreerdgronden liggen wat hoger in het beekdal (type  $E_w$ : beekdalflank met wegzijging). Het beekdal wordt begrensd door infiltratiegebieden bestaande uit veldpodzolen, haarpodzolen en duinvaaggronden (type B: dekzandrug).

Het grondwatersysteem is eenvoudig. Het opkwellende water in de gebieden  $E_k$  en G is afkomstig uit de wegzijggebieden  $E_w$  en B ter weerszijde van de Sterkselse Aa. Kwelwater van grotere afstand - zo die stroming er al is - zal van ondergeschikte betekenis zijn.

De beboste noordzijde van het natuurgebied ligt op 'de Boksenberg' en 'de Vroolijke Jager': een dekzandrug. Aan de zuidzijde is het beekdal breder ('de Pan' staat waarschijnlijk voor laag gebied). Het beekdal wordt hier begrensd door hoge zwarte enkeerdgronden (oude landbouwgronden) en door dekzanden die geleidelijk omhoog lopen naar de dekzandrug van de Hugterheide (ten zuiden van Hugten). Ten zuidwesten van de Pan wordt het beekdal begrensd door het stroomgebied van de Rakerloop (waterscheiding).

De dekzandrug aan de noordzijde van het beekdal vormt de waterscheiding met het stroomgebied van de Peelrijt. Aangenomen wordt dat deze dekzandrug het beekdal van lokale kwel voorziet/voorzag. Het hoge deel van het landgoed de Pan (zuidelijk) voorziet/voorzag de laagte van de Pan van kwel.

Verder wordt geconstateerd dat het beekdal niet (meer) van diepe kwel wordt voorzien. De stijghoogten in het eerste watervoerend pakket (Formatie van Sterksel) zijn gelijk aan die in de deklaag (Nuenen pakket).

In de loop der jaren zijn in het bosgebied de meeste detailwaterlopen afgedamd. Hierdoor is met name op de

madeveengronden en broekeerddgronden (zuidelijk van de Sterkselse Aa) het naaldbos afgestorven en komen er elzen voor terug. Verder heeft de beheerder de bouwvoor van enkele oud-landbouwgronden verwijderd (de zgn. plagvlakten).

Het Sterkselsch Kanaal heeft in dit gebied slechts een doorvoerfunctie voor water uit het Oude Graaf gebied van Waterschap Peel en Maasvallei. Het peil in het Sterkselsch Kanaal wordt in de zomer opgestuwd. Het Kanaal valt in de zomer regelmatig droog. In de winter worden de schotbalken verwijderd om aanzanding te voorkomen.

De Sterkselse Aa valt niet snel droog. Incidenteel staat er minder dan 20 cm water zonder waarneembare stroming in de Sterkselse Aa (droogte meetpunt klasse 3 jan-mrt 1996).

De natuurwaarde van de Sterkselse Aa is redelijk goed (score 6 op basis van macrofauna).

### Streefbeeld

Herstel van het Elzenbroekbos in het dal van de Sterkselse Aa. Dit vereist herstel van de grondwaterstand en een juiste waterkwaliteit. De vereiste waterkwaliteit is basische kalkrijke kwel of kalkrijk beekwater. Basische kalkrijke kwel vereist geen diepe kwel, ondiepe kwel kan deze waterkwaliteit bieden wanneer leemlagen worden gepasseerd. Hiertoe dient in de ondiepe ondergrond leem aanwezig te zijn. Verhoging van de grondwaterstand met beekwater (door opzetten van beekpeil en toestaan van overstromingen) is geen bezwaar. Het conserveren van neerslag water is wel ongewenst (verzuring).

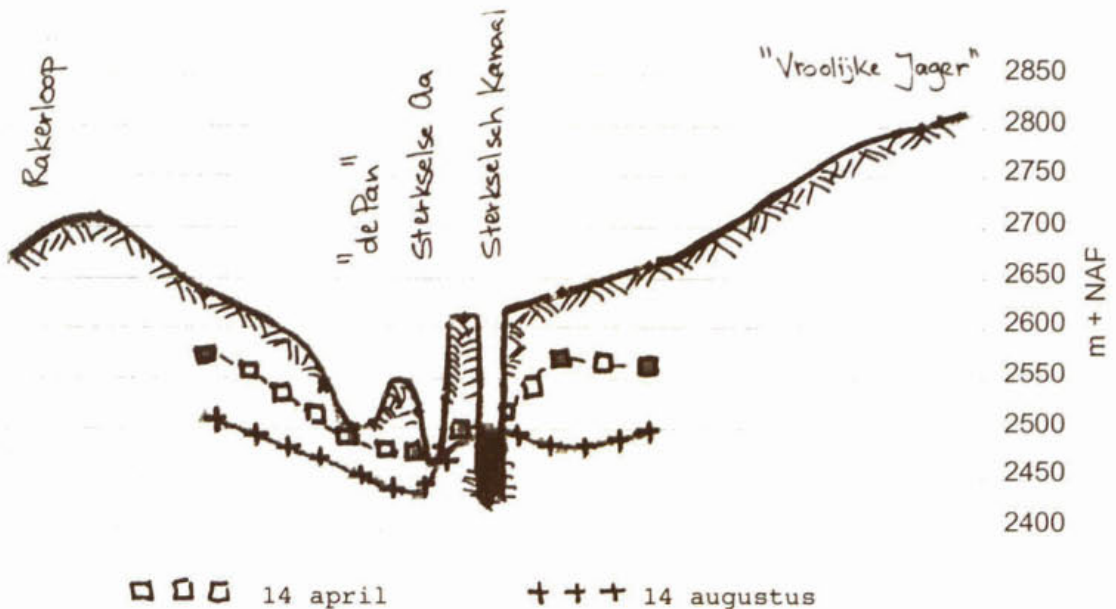
De gewenste grondwaterstand is ongeveer gelijk aan maaiveld met een GLG van maximaal 35 cm beneden maaiveld. De grondwaterstand in het natuurgebied, moet met ca. 40 cm omhoog om deze GLG te bereiken.

De Sterkselse Aa en het Sterkselsch Kanaal hebben beiden de functie waternatuur. Inrichtings- en

beheersmaatregelen dienen hier rekening mee te houden. Nieuwe stuwen dienen bijvoorbeeld passeerbaar te zijn.

### Analyse verdrogingsoorzaak

Het gebied rondom de Pan bestaat uit grootschalige vrij jonge ontginningen van oorspronkelijk natte heide-terreinen. Het huidig grondgebruik is grasland en maisland. Het agrarisch gebied is diep ontwatert en heeft droogteproblemen. Als gevolg van deze ontwikkeling is de grondwaterstand in het ontgonnen gebied rondom de Pan met 0,70 tot 1,00 m gedaald. In het natuurgebied is de grondwaterstand hierdoor ook gedaald. Het oppervlak agrarisch gebied is erg groot vergeleken met het oppervlak natuurgebied. De geconstateerde verdroging van natuurgebied de Pan wordt grotendeels veroorzaakt door ontginning en ontwatering van de omgeving.



Figuur J.2. Dwarsprofiel van de gemiddelde grondwaterstand in voorjaars- en zomersituatie (1992-1997)

Het Sterkselsch Kanaal is in 1919 gegraven om daarmee de ontgonnen natte heideterreinen in de provincie Limburg te ontwateren. De Sterkselse Aa voerde voor de ontginning ook water af uit Limburg (zie oude gemeentegrens op topografische kaart).

Het Sterkselsch Kanaal ligt in gooreerdgronden in het beekdal op de flank van de dekzandrug. Het kanaal vangt in voorjaar en winter lokale kwel af. Figuur J.2 geeft een dwarsdoorsnede door het natuurgebied de Pan weer waarop de drainerende invloed van het kanaal op het grondwaterregime zichtbaar wordt. *Het Sterkselsch Kanaal is een lokale oorzaak van verdroging in het beekdal van de Sterkselse Aa.*

*Een andere lokaal verdrogende oorzaak is de verlaging van het peil in de Sterkselse Aa. Welke o.a. veroorzaakt werd door:*

- \* De ontginning van het stroomgebied van de Sterkselse Aa in de omgeving van de Hugterweg (totaal meer afvoer maar tevens ook moderne droogleggingseisen);
- \* Het uitbaggeren/uitdiepen van de Sterkselse Aa en de Kamersvenloop begin jaren tachtig;
- \* De verlegging van de Rakerloop welke voorheen in het natuurgebied en nu benedenstrooms van natuurgebied de Pan in de Sterkselse Aa uitmondt;
- \* Het stoppen van de effluent-afvoer vanaf de Phillips fabriek (van oorsprong grondwater) in Maarheeze via Kamersvenloop begin jaren tachtig.

*Overige verdrogende oorzaken zijn:*

- \* De aanplant van naaldbos in plaats van loofbos en droge heide op de dekzandrug;
- \* De detailontwatering in het natuurgebied;
- \* Het onttrekken van ondiep grondwater ten behoeve van de beregening van landbouwpercelen.

De grondwateronttrekking van ca 4 mln m<sup>3</sup>/jaar op 4 km afstand van het nabij gelegen drinkwaterpompstation Someren is niet een directe veroorzaker van de verdroging. De winning vindt dusdanig diep plaats dat dit geen invloed meer heeft op de freatische grondwaterstand. Het totaal aan grondwaterwinningen ten

behoefte van de drink- en industriewatervoorziening hebben wel significante invloed op de diepere grondwaterstanden en dus op de kwelintensiteit (Stuurman, 1996).

#### Toekomstige ontwikkelingen

In 1998 wordt het inrichtingsplan 'stroomgebied Oude Graaf en Kievietsbeek' nader uitgewerkt (Waterschap Peel- en Maasvallei). Hiermee zal de basisafvoer van het Sterkselsch Kanaal afnemen en kan het kanaal zelfs periodiek droog gaan vallen. De piekafvoeren op het Sterkselsch Kanaal zullen naar verwachting nauwelijks veranderen (14 riool-overstorten uit stad Weert).

#### Selectie van maatregelen

Uit de verkenning wordt een pakket van mogelijke maatregelen geadviseerd. Hiertoe behoort het **verondiepen** van de bedding van de Sterkselse Aa waardoor de beekbodem wordt verhoogd en de ontwatering afneemt (eventueel verbreden voor behoud afvoercapaciteit).

Verder zal **peilverhoging** in de Sterkselse Aa een grondwaterstandsverhogend effect hebben. Het beekpeil kan worden verhoogd door de watergang te verlengen via hermeandering en door passeerbare stuwen te plaatsen (let op! functie waternatuur). Hermeandering lijkt een reële optie op die plaatsen waar de oude meanderarmen nog bestaan en deze slechts aangesloten hoeven te worden. Passeerbare stuwen zouden benedenstrooms van het natuurgebied de grens met de nog niet gerealiseerde EHS kunnen vormen en zouden in het natuurgebied zelf de peilen voldoende hoog kunnen houden.

**Realisatie van de Ecologische Hoofdstructuur**, met onder andere gronden die benedenstrooms langs de Sterkselse Aa zijn gelegen, vergroot het gebied waarin een verhoogd peil kan worden gehandhaafd.

Om maximaal te kunnen stuwen dienen lage **percelen** bovenstrooms van de Pan te worden **aangekocht**. Eventueel

kunnen deze percelen worden gebruikt voor **buffering van piekafvoeren via inundatie**. Dusdanig hoog stuwen dat het maaiveld in het natuurgebied periodiek overstroomt is het niet ongewenst (wel afhankelijk van waterkwaliteit: nader onderzoek nodig, zie ook de 14 bovengenoemde riooloverstorten). De drooglegging van de bovenstrooms van het natuurgebied gelegen percelen is maatgevend voor de hoogte van de opstuwning. Wellicht kunnen laaggelegen percelen worden onderbemalen en evt. afwateren op het Sterkselsch Kanaal.

Wanneer onvoldoende water beschikbaar is om maximaal te kunnen stuwen kan mogelijk water uit het Sterkselsch Kanaal bovenstrooms in de Aa worden **ingelaten** (afhankelijk van waterkwaliteit: nader onderzoek). Het Kanaal zou dan slechts voor de afvoer van pieken worden gebruikt.

Een meer structurele oplossing voor het verdrogingsprobleem aan de noordzijde van de Sterkselse Aa is het **opheffen of sterk verondiepen** van het Sterkselsch Kanaal. De voorjaarskwel die nu door het kanaal wordt afgevangen zou daarmee in het broekgebied terugkomen.

Aanvullend op bovenstaande maatregelen geldt dat de resterende **detailontwatering** in het natuurgebied dient te worden **verondiept**. Afdammen alleen is onvoldoende omdat stagnatie van regenwater kwalitatief niet gewenst is (verzurend).

Verder dienen herinrichtingsmaatregelen het omliggende bos een nieuwe start te geven. **Verloofing** is hierbij ook een hydrologisch gunstige maatregel.

#### Vervolg onderzoek

Tijdens het anti-verdrogingsonderzoek 'de Pan' zullen diverse scenario's worden doorgerekend waardoor verschillende mogelijke maatregelen kunnen worden afgewogen.



BIJLAGE K: HET BOETELERVELD

Erik Broeze en Sam-Peter Bakker,  
Waterschap Groot Salland

Een onderzoek volgens de systematiek van het NOV-14 rapport naar de mogelijkheden om de verdroging in het natuurgebied het Boetelerveld te bestrijden.

Inleiding

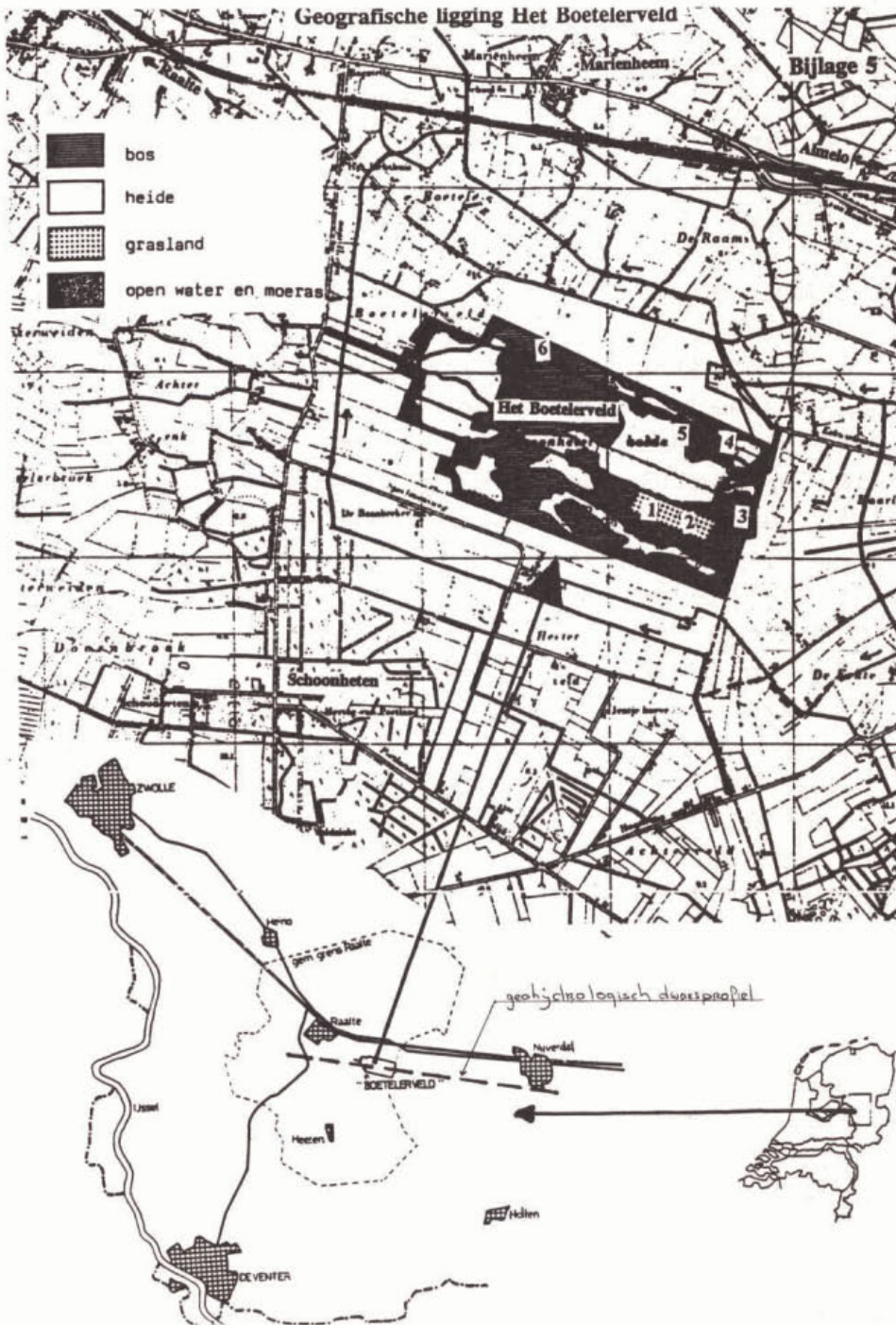
Het Nationaal Onderzoeksprogramma Verdroging (NOV) onderzoekt mogelijke maatregelen tegen verdroging. Een onderdeel van het Programma is om een globale voorselectie van antiverdrogingsmaatregelen te maken. Dit onderdeel is onderzocht door A.P. Bot, raadgevend ingenieur te Rotterdam. Het rapport dat hij opgesteld heeft is het NOV-14 rapport: Een Oriëntatie op Maatregelen tegen Verdroging.

Het NOV-14 rapport beschrijft een systematiek waarmee m.b.v. een aantal gebiedskenmerken hydrologische gebiedstypen onderscheiden kunnen worden. Deze systematiek is ook toegepast op het sterk verdroogde natuurgebied het Boetelerveld. Het Boetelerveld is gelegen in het beheersgebied van het waterschap Groot Salland en is aangegeven in figuur K.1.

Het waterschap heeft plannen om de verdroging te bestrijden door het realiseren van het watervoorzieningsplan Luttenberg. Het streefbeeld voor het Boetelerveld is het scheppen van condities om vochtige heide terug te krijgen. Goede omstandigheden voor vochtige heide wordt bevorderd bij een grondwatertrap III. Voor dit onderzoek volgens de systematiek van het NOV-14 is niet uitgegaan van het watervoorzieningsplan Luttenberg (uitgangssituatie is dus "blanco").

Gebiedsbeschrijving Boetelerveld

Ongeveer 2 km ten zuidoosten van Raalte ligt het natuurgebied het Boetelerveld. Het is het laatste restant van de uitgestrekte vochtige heideterreinen



Figuur K.1: Ligging en situatie van het Boetelerveld.

welke vroeger het beeld van Salland vormden. De omgeving van het natuurgebied bestaat grotendeels uit een vrijwel kaal ontginningslandschap. Het nabijgelegen landgoed Schoonheten is hierop een uitzondering. Samen met het natuurgebied vormt dit een kerngebied in de Provinciale Ecologische Hoofdstructuur (PEHS). Het Boetelerveld is grotendeels in eigendom van Stichting Het Overijssels Landschap en heeft een oppervlakte van ongeveer 170 ha. De grootste oppervlakte wordt ingenomen door voornamelijk naaldbos. Op het kaartje van figuur K.1 is een overzicht gegeven van het Boetelerveld. Ruim een derde deel wordt ingenomen door heide, maar door onder andere verdroging is een groot gedeelte hiervan vergrast. Door verschillende beheersmaatregelen, onder andere begrazing door runderen, wordt geprobeerd de vergrassing tegen te gaan. De heidevegetaties die niet gemaaid en/of geplagd zijn, hebben nauwelijks profijt gehad van de begrazing. Hier is de vergrassing zo massaal, dat nog slechts plaatselijk het dopheide-aspect te herkennen is. In deze heide komen toch nog sporadisch, het meest op paden, planten van de natte heide voor, zoals klokjesgentiaan, blauwe zegge en tormentil. Op de natste plekken zijn snavelbies en zonnedauw nog aanwezig. Hieruit blijkt dat het Boetelerveld hoge actuele en potentiële natuur- en landschapswaarden heeft, vooral op natte plaatsen.

#### Probleemstelling en Streefbeelden

De grondwaterstandsdeling in het Boetelerveld is onder andere veroorzaakt door verbeteringswerken aan het watergangenstelsel die in de jaren 1960 tot 1970 rondom het Boetelerveld zijn uitgevoerd. Hierdoor heeft het terrein te maken met ernstige verdroging. De verdroging wordt veroorzaakt door de perifere afstroming vanuit het natuurgebied het Boetelerveld met een relatief hoog grondwaterpeil naar het omliggende landbouwgebied met een laag grondwaterpeil. De theorie van deze perifere afvoer is schematisch weergegeven op blz 8 van de hoofdtekst. Door de verdroging is in het hele reservaat sterke vergrassing met pijpestrootje opgetreden en zijn de kenmerkende dopheide-vegetaties sterk achteruit gegaan. Ondanks maatregelen om de oppervlakkige afvoer

te blokkeren (afdammen en dempen van sloten en greppels) daalt de grondwaterstand in droge perioden tot meer dan 1.80 m onder maaiveld. De wintergrondwaterstanden zijn als gevolg van de afdammingen wel hoog (tot aan het maaiveld).

De verdroging van dit waardevolle natuurgebied moet worden bestreden. Binnen het Boetelerveld zou het gewenst zijn dat door de grondwaterstandsverhoging grondwatertrap (GT) V verandert in grondwatertrap III. Grondwatertrap III komt overeen met de gewenste grondwaterstanden voor natte heide (dopheide). Een grondwatertrap V wil zeggen dat de gemiddelde laagste grondwaterstand (GLG) dieper dan 1.20 m onder het maaiveld ligt en de gemiddelde hoogste grondwaterstand ondieper dan 40 cm onder het maaiveld. Voor grondwatertrap V is een onderverdeling gemaakt in een droge GT V en een natte GT V. In het Boetelerveld komt de droge variant van GT V voor. Voor GT III geldt een GLG van tussen de 80 en 120 cm onder het maaiveld en een GHG van minder dan 40 cm onder het maaiveld.

### Inventarisatie

Om de oorzaken van de verdroging in beeld te brengen, volgens de methodiek van NOV-14, wordt gebruik gemaakt van de topografische kaart, de historische topografische kaart (situatie 1830-1855), de bodemkaart en de geohydrologische kaart, in combinatie met de tabel van gebiedstypes en het afstromingsdiagram uit de hoofdtekst.

### **Topografisch kaart**

Op de topografisch kaart zijn de hoogtelijnen ingetekend. Hieruit blijkt dat het gebied vrij vlak is. Het Boetelerveld ligt niet duidelijk hoger of lager dan het omliggende gebied. Het terrein loopt vanaf oostelijke richting in westelijke richting af. Het maaiveld aan de oostkant ligt ongeveer op 8.50 m + NAP en aan de westkant op ongeveer 7.00 m + NAP.

### **Historische topografische kaart en historisch boek waterschap Salland.**

Uit de historische kaart blijkt dat het Boetelerveld en omgeving bestond uit woeste grond. Niet duidelijk is of het gebied vroeger echt nat geweest is. Er komen namelijk geen beken of sloten voor. Wel is het mogelijk dat hier of daar wat vennetjes aanwezig waren op afvoerloze laagten. Uit het historische boek van het waterschap Salland 'Van de Hunnepe tot de Zee' blijkt dat deze laagten uitsluitend werden gevoed door regenwater. Regenwater is veel armer aan voedingsstoffen dan het kwelwater uit de diepere grondlagen. In deze laagten ontstond vaak een arm soort veenmosveen of hoogveen. Deze vennen kwamen vroeger voor in het heidelandschap met vochtige heide in het Boetelerveld en omgeving. In het natuurreservaat het Boetelerveld zijn nog enkele fraaie vennen bewaard gebleven.

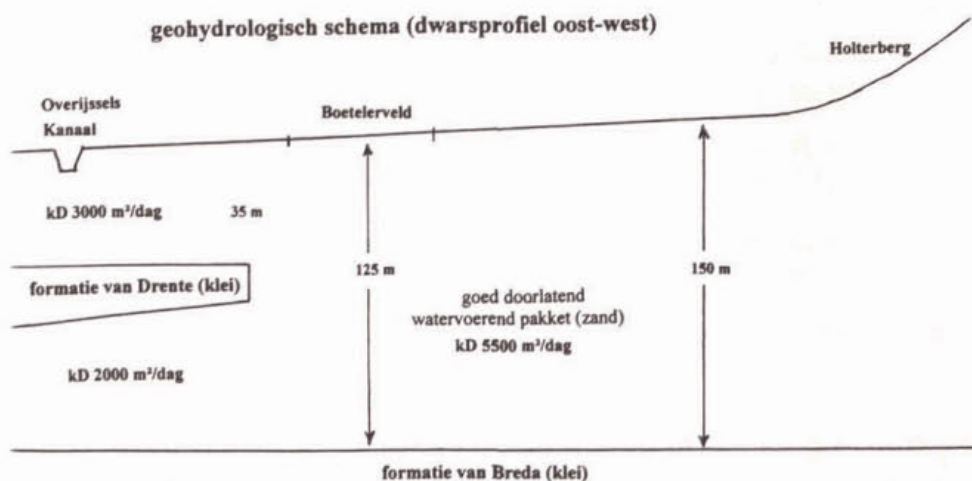
### **Bodemkaart**

Voor het onderzoek is de Stiboka bodemkaart 1:50.000 gebruikt. In het Boetelerveld komen hoofdzakelijk veldpodzolgronden voor (code Hn23) met grondwatertrap V\*. Vertaling van Stibokatypen naar gebiedstypen wordt uitgevoerd met de tabel van bijlage G uit het rapport Hydrologische Verkenning. Hieruit blijkt dat veldpodzolgronden kunnen vallen onder de hydrotypen A, B, C, Ew of G. Zeer lokaal (ca. 8 ha.) komt Beekeerdgrond voor (code pZg23) met grondwatertrap III. Dit Stibokatype kan vertaald worden naar de hydrotypen D, Ek of G.

### **Geohydrologische kaart**

De ondergrond ter plaatse van het Boetelerveld bestaat uit één watervoerend zandpakket met een dikte van 125 tot 150 meter. Daaronder bevindt zich de geohydrologische basis, de formatie van Breda, welke uit klei bestaat. Het watervoerende pakket heeft een vrij hoge doorlatendheid:  $kD = 5500 \text{ m}^2/\text{dag}$ . Het watervoerende pakket wordt niet afgesloten door een slecht doorlatende deklaag. De bovengrond bestaat voornamelijk uit dekzand (5-10 meter dik). Ten westen van het Boetelerveld komt nog een waterscheidende laag voor, de formatie van Drente. Deze kleilaag bevindt zich op een diepte van 35 meter, maar heeft waarschijnlijk weinig invloed op de hydrologie in het Boetelerveld. De Eem

formatie (klei) komt in dit gebied niet voor. In figuur K.2 is de geohydrologische opbouw in een dwarsprofiel weergegeven.



Figuur K.2: Geohydrologisch dwarsprofiel.

### Drinkwateronttrekkingen

In de omgeving van het Boetelerveld liggen twee drinkwaterwinlocaties van de Waterleiding Maatschappij Overijssel. De drinkwaterwinning Nijverdal met een onttrekking van 6 miljoen m<sup>3</sup> per jaar ligt ongeveer 7 km ten oosten van het Boetelerveld boven op de Sallandse Heuvelrug. De drinkwaterwinlocatie Espelose Broek met een onttrekking van 4 miljoen m<sup>3</sup> per jaar ligt ongeveer op 7 km ten zuiden van het Boetelerveld. Beide drinkwaterwinlocaties liggen op grote afstand van het Boetelerveld en hebben nauwelijks effect op de grondwaterstand in het Boetelerveld. Met behulp van een eenvoudige formule zijn de grondwaterverlagingen ter plaatse van het Boetelerveld berekend. Voor de berekening is gebruik gemaakt van de formule van De Glee (zie bijlage E).

### Terreininventarisatie en oppervlaktewaterkwaliteit

Tijdens het veldbezoek op 9 februari 1998 is de kwaliteit van het oppervlaktewater in het Boetelerveld in diverse poelen en vennen globaal onderzocht. De

nummers van het monsterpunt zijn in figuur K.1 aangegeven.

nr.	omschrijving	pH	geleidbaarheid
1	poel grasland west, nabij bomen, veedrenking	6.8	130
2	poel grasland oost, geen bomen, veedrenking	5.7	45
3	Grote Rietgat, oostkant, omwalde ronde plas (rabat), geen vee	6.3	225
4	Kleine Turfgat, noordkant, schraalgrasland, geen vee	7.2	196
5	nieuw gegraven poel voor veedrenking, nauwelijks bomen	4.5	50
6	oude poel met rondom bomen	4.8	62/72

Het blijkt dat een lage geleidbaarheid (EGV) duidt op regenwater. Verder kan een hoge pH waarde duiden op kwelwater (carbonaat). Opmerkelijk is dat dit is waargenomen ter plaatse van het Kleine Turfgat, terwijl andere factoren (o.a. geologie) niet duiden op kwel. Dit zou nog nader onderzocht moeten worden, waarbij ook naar de vegetatie gekeken moet worden.

### Conclusies a.d.v. inventarisatie

#### **Historie**

Aan de hand van de inventarisatie kan geconcludeerd worden dat vroeger in het Boetelerveld vochtige heide (dopheide) voorkwam, waarschijnlijk regenwater gevoed met niet al te diepe grondwaterstanden en arme gronden. Door de arme grond is het gebied waarschijnlijk niet ontgonnen.

#### **Gebiedstype**

Het Boetelerveld en zijn omgeving is een duidelijk voorbeeld van gebiedstype  $E_r$ : een lappendeken van lokale kwel- en wegzijggebiedjes op een 'open' watervoerend pakket. De perifere weerstand is zeer gering. In het Boetelerveld komen de wegzijgtypen B en  $E_w$  het meest voor; het kweltype  $E_k$  komt maar op één lokatie voor.

### **Grondwaterstanden**

Hoge grondwaterstanden kwamen voor in ingesloten laagtes (GT I en II), hier was wellicht wat lokale kwel aanwezig (geen diepe kwel). Door de ontwatering in het omliggende gebied is de grondwaterstand sterk verlaagd (ca. halve meter). Dit wordt veroorzaakt doordat de perifere weerstand gering is. In het gebied treffen we nu een droge GT V aan.

### Maatregelen (zie hoofdstuk 4 van de hoofdtekst)

Een oplossing om de grondwaterstanden weer te verhogen zijn:

- \* door operationeel peilbeheer (nadeel: oppervlaktewaterpeilen zijn niet te handhaven)
- \* door ruimtelijke optimalisatie; dit kan bereikt worden door:
  - \* laagste delen te gaan onderbemalen
  - \* het accepteren van vernatting.
- \* wateraanvoer; niet in het Boetelerveld (i.v.m. waterkwaliteit), maar peilverhoging in een randsloot. Randvoorwaarden: peil in het landelijk gebied mag niet omhoog te bereiken door:
  - \* aanleg extra buffersloot met lager peil
  - \* grond aankopen

### **Wateraanvoer zomer**

De wateraanvoer in de zomer is niet echt nodig. Het oppervlaktewaterpeil van de watergangen in het landbouwgebied zijn dan al vrij hoog door de wateraanvoer. Indien later blijkt dat de gewenste grondwatertrap III in het Boetelerveld niet wordt verkregen, dan zal extra wateraanvoer in de zomer wel nodig zijn.

### **Wateraanvoer winter/voorjaar**

Wateraanvoer in de winter en voorjaar is belangrijker dan in de zomer. Het oppervlaktewaterpeil in de randsloot van het Boetelerveld moet hoog gehouden worden in de winter door wateraanvoer. Het is overgens maar zeer de vraag of dat peil kan worden gehandhaafd. De sloten in de omgeving zullen ten behoeve van de landbouw



immers op een lager peil worden gehouden. Vanwege de zeer geringe perifere weerstand zal een zeer hoge afstroming naar die lagere sloten plaats vinden.

- \* De wateraanvoer in de winter zou kunnen geschieden vanuit de buffersloot met een laag peil, waardoor het water als het ware wordt rondgepompt. Een nadeel hiervan is dat het water, wat naar de westkant van het Boetelerveld stroomt, via een gemaal met een persleiding teruggebracht moet worden naar de oostkant van het Boetelerveld. Uit een eenvoudige berekening blijkt dat het toe te passen gemaal een grote capaciteit nodig heeft. Door de grote doorlatendheid van de ondergrond wordt er veel water rondgepompt.
- \* Een andere oplossing voor de wateraanvoer in de winter is water aan te voeren vanuit de watergangen welke ten oosten van het Boetelerveld liggen. Dit kan uit de watergang die wateraanvoer regelt vanaf Haarle naar het Boetelerveld. In deze watergang is altijd voldoende water aanwezig, doordat ook in droge winters het peil door wateraanvoer gehandhaafd wordt. Het water kan vanuit deze watergang onder vrij verval stromen naar de randsloot rondom het Boetelerveld. In dit alternatief is een gemaal dus niet nodig.

### Eindconclusie

Om de verdroging in het Boetelerveld te bestrijden lijkt wateraanvoer de beste oplossing. Waterconservering zonder extra maatregelen is niet geschikt door de geringe perifere weerstand van het Boetelerveld. Met wateraanvoer kun je het peil wellicht handhaven. Wel moet een extra randsloot en een buffersloot gegraven worden om het grondwaterpeil in het landbouwgebied niet te doen stijgen in het voorjaar. Door het opzetten van het oppervlakte-waterpeil zal de afstroming van het grondwater uit het Boetelerveld geblokkeerd worden. Het gebiedseigen grondwater wordt dus op deze manier geconserveerd. In de winter en voorjaar is wateraanvoer belangrijker dan in de zomer. Om in het Boetelerveld grondwatertrap III

te kunnen krijgen zal in de zomer toch nog water  
aangevoerd moeten worden. Wateraanvoer kan het beste  
geschieden vanuit de watergangen gelegen ten oosten van  
het Boetelerveld. Een gemaal is dan niet noodzakelijk.

De NOV-14 methode is een geschikte methode voor een  
globale analyse van de situatie. Om tot een oplossing  
te komen voor het bestrijden van de verdroging van het  
Boetelerveld zijn daarnaast andere overwegingen  
gebruikt.

BIJLAGE L: HET REESTDAL

Erik Broeze en Sam-Peter Bakker,  
Waterschap Groot Salland

Een onderzoek volgens de systematiek van het NOV-14 rapport naar de mogelijkheden om de verdroging in het Reestdal te bestrijden

Inleiding

Het Nationaal Onderzoeksprogramma Verdroging (NOV) onderzoekt mogelijke maatregelen tegen verdroging. Een onderdeel van het Programma is om een globale voorselectie van antiverdrogingsmaatregelen te maken. Dit onderdeel is onderzocht door A.P. Bot, raadgevend ingenieur te Rotterdam. Het rapport wat hij opgesteld heeft is het NOV-14 rapport: Een Oriëntatie op Maatregelen tegen Verdroging.

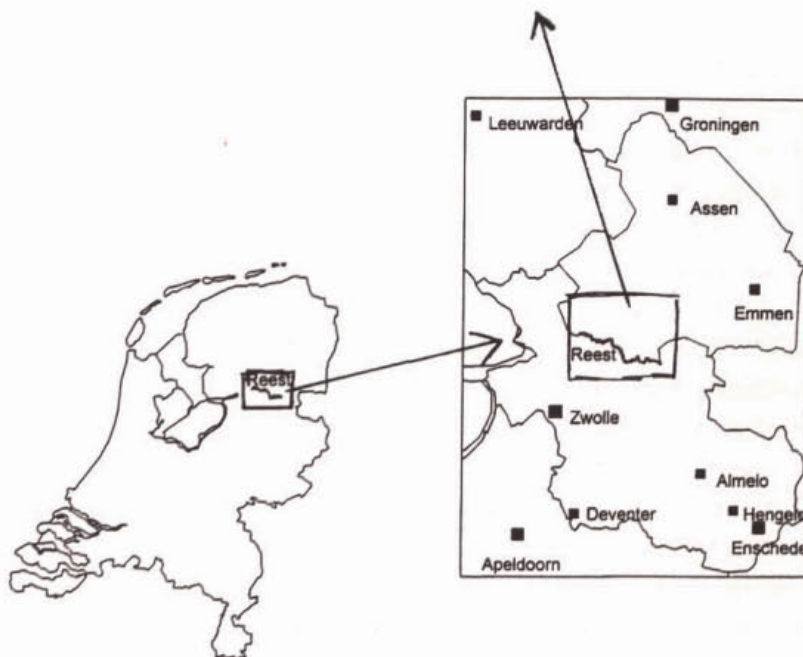
Het NOV-14 rapport beschrijft een systematiek waarmee m.b.v. een aantal gebiedskenmerken hydrologische gebiedstypen onderscheiden kunnen worden. Op 26 en 27 januari 1998 heeft Bram Bot deze systematiek toegepast op het verdroogde Reestdal. Samen met medewerkers van het waterschap is geprobeerd om een voorselectie te maken van maatregelen die de verdroging in het Reestdal bestrijden. De ligging van het Reestdal is aangegeven in figuur L.1.

Vanuit diverse instanties (Provincies, Ministerie, Landschapsorganisaties en waterschappen) zijn er plannen om de verdroging te bestrijden. Het streefbeeld voor het Reestdal is het scheppen van condities om natte schraalgraslanden terug te krijgen. Goede omstandigheden voor natte schraalgraslanden wordt bevorderd bij kwel in het Reestdal. Voor het onderzoek volgens de systematiek van het NOV-14 is niet uitgegaan van bestaande plannen. De uitgangssituatie voor deze twee dagen is dus "blanco".

Gebiedsbeschrijving Reestdal

De Reest ligt op de grens van de provincies Drenthe en Overijssel en stroomt vanaf de Dedemsvaart naar Meppel

(zie figuur L.1). De Reest is een typische laaglandbeek: sterk meanderend, met een verval van slechts 5 m op een lengte van ca. 37 km. Het dal is afwisselend zeer smal (ca. 100 m) en tamelijk breed (500 m).



Figuur L.1: Ligging en situatie van het Reestdal.

In de oorspronkelijke situatie werd de Reest gevoed door het hoogveengebied ten noordoosten van Dedemsvaart. Eind 18e eeuw werd het Reestdal in de midden- en bovenloop nog geflankeerd door uitgestrekte

heide- en hoogveengebieden. Tegenwoordig is een deel van de bovenloop verdwenen en begint de Reest ten oosten van Dedemsvaart in een vlak veenontginnings-landschap. Naast de oost-west gesitueerde hoofdas van het Reestdal zijn dwars daarop gesitueerde subsystemen van belang: de Vledders en Leijer Hooilanden bij IJhorst het "Eggesysteem" ten oosten van Zuidwolde (Drenthe), Huizingerveld ten noorden van Balkbrug en Schrapveen ten noorden van Dedemsvaart. Met name de Vledders en Leijer Hooilanden en het Eggesysteem zijn te beschouwen als belangrijke voedende zijdalen van de Reest. De aanliggende gebieden van het Reestdal zijn in gebruik als landbouwgrond.

### Probleemstelling en Streefbeelden

Door menselijk ingrijpen is de hydrologische situatie van het gebied sterk veranderd. Oorspronkelijk voerde de Reest het water af van een 30.000 tot 40.000 ha groot gebied op de grens van Drenthe en Overijssel. Dit gebied was voor een groot deel bedekt met hoogveen, waardoor het water relatief langzaam tot afstroming kwam. Door het afgraven en in cultuur brengen van dit veengebied en de aanleg van de Hoogeveensche Vaart en de Dedemsvaart werd het toeleveringsgebied van de Reest aanzienlijk verkleind tot ruim 12.000 ha. Met de aanleg van de Reest-vervangende leiding in 1971 werd het stroomgebied nog verder beperkt, tot de huidige ca. 6.000 ha. De grootschalige ontwatering van de landbouwgebieden langs het Reestdal hebben ook bijgedragen aan de verminderde kweldruk naar het Reestdal.

De verdroging van het Reestdal moet worden bestreden. Het zou gewenst zijn om de grondwaterstanden in de beemden (gebieden tussen de rivier en de hoger gelegen oeverwallen) te verhogen tot aan de wortelzone. Deze grondwaterstand komt overeen met de gewenste grondwaterstanden voor natte schraalgraslanden.

### Inventarisatie

De verwijzingen in de tekst zijn naar pagina's in de hoofdtekst.

Om de oorzaken van de verdroging in beeld te brengen wordt gebruik gemaakt van de topografische kaart, de historische topografische kaart (situatie 1830-1855), de bodemkaart en de geohydrologische kaart, in combinatie met de tabel van gebiedstypes en het afstromingsdiagram uit de hoofdtekst.

#### **Topografisch kaart**

Op de topografisch kaart zijn de hoogtelijnen ingetekend en is het ingesloten gebied ingekleurd. Hieruit blijkt dat de Reest, de Vledders en Leijer Hooilanden, Huizingerveld en Schrapveen een laagte vormen in het landschap. De hoogteverschillen zijn echter niet groot. Het maaiveld van het Reestdal ligt aan de oostkant ongeveer op 6.00 m + NAP en aan de westkant ongeveer op 1.00 m + NAP.

#### **Historische topografische kaart**

Op de historische topografisch kaart is te zien dat de Reest als afwatering diende van het hoogveengebied in het oosten en noordoosten. Ook is te zien dat de Vledders en Leijer Hooilanden, Huizingerveld en Schrapveen al vroeg in cultuur gebracht zijn. De gronden grenzend aan het Reestdal zijn pas later in cultuur gebracht.

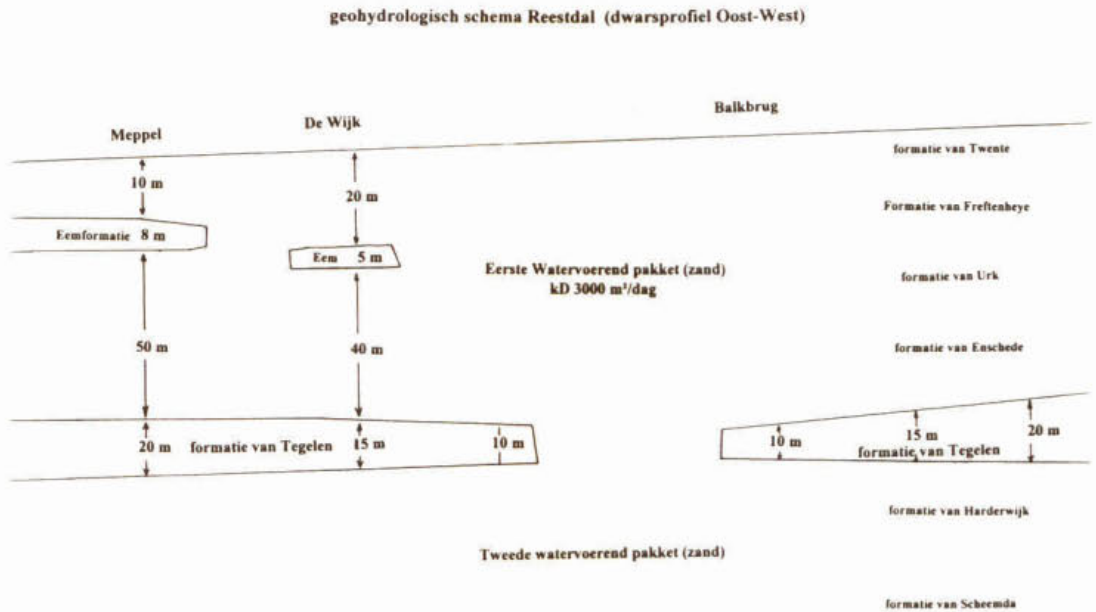
#### **Bodemkaart**

Voor het onderzoek is de Stiboka bodemkaart 1: 50.000 gebruikt. In het Reestdal komen hoger gelegen enkeerdgronden voor (Stibokacode EZ21, hydrotype A en B uit tabel blz. 49) en de wat lager gelegen gebieden zijn voornamelijk madeveengronden (Stibokacode aVc, gebiedstype D en G zie tabel blz. 49). In het zuidoosten van het Reestgebied vooral (moerige) podzolgronden (Stibokacode vWp, gebiedstype D, Ek, G zie tabel blz. 49) en ten noorden en ten zuidwesten met name veldpodzolgronden (Stibokacode Hn21, gebiedstype A, B, C, Ew, G zie tabel blz. 49). Lokaal komen gronden van het type stuifzand (Stibokacode As) voor.

#### **Geohydrologische kaart**

De ondergrond van het Reestdal bestaat op sommige plaatsen uit één watervoerend pakket (zie figuur L.2) Op de meeste plaatsen komt een afscheidende laag van Tegelenklei voor. Op sommige plaatsen komt Eemklei

voor. Het eerste watervoerend pakket is op de meeste plaatsen ca. 60 m dik en heeft een vrij hoge doorlatendheid (kD) van ca. 3000 m<sup>2</sup>/dag.



Figuur L.2: Geohydrologische dwarsdoorsnede.

### Grondwateronttrekkingen

In de omgeving van het Reestdal liggen twee drinkwaterwinlokaties van de Waterleiding Maatschappij Drenthe en Overijssel. De drinkwaterwinning Zuidwolde met een onttrekking van 1 miljoen m<sup>3</sup> per jaar ligt op ongeveer 6 km afstand ten noorden van het Reestdal. De drinkwaterwinning Witharen met een onttrekking van 5 miljoen m<sup>3</sup> per jaar ligt op 6 km ten zuiden van het Reestdal.

### Conclusies a.d.v. inventarisatie

#### Historie

Aan de hand van de inventarisatie kan geconcludeerd worden dat vroeger de Reest gevoed werd met water vanuit het hoogveengebied. De afvoer vanuit het hoogveengebied was waarschijnlijk vrij constant zonder hoge piekafvoeren. De nog niet ontgonnen en ontwaterde gronden in de omgeving zorgden voor een kwelstroom richting het Reestdal.

### Afstromingsdiagram en gebiedstype

Het Reestdal en zijn omgeving is een duidelijk voorbeeld van gebiedstype  $E_r$ : een lappendeken van wegzig- en kwelgebiedjes op een open watervoerend pakket. De bodemkaart en topografische kaart (hoogtelijnen) geven aan dat het Reestdal tot een kwelgebied gerekend kan worden. De oeverwallen zijn van het type A (er is geen lokale afvoer in de winter, alleen wegzigging, zie tabel blz. 50) en de beemden van het type G (kwel, en er komt geen afsluitende laag voor, zie tabel blz. 50). De omgeving van het Reestdal kan ingedeeld worden als type  $E_r$  (zie tabel blz. 50), er is wisselend kwel en wegzigging bij nagenoeg dezelfde grondwaterstand en er komt geen afsluitende laag voor.

### Geohydrologische kaart

- \* Het watervoerende pakket is "ruim", ca. 3000  $m^2$ /dag zonder dat er een echte afdeklaag aanwezig is. De Eemklei, op enkele meters diepte zit vol gaten of is zelfs helemaal niet aanwezig. Alleen in het westelijk deel van het Reestdal komt Eemklei voor. De perifere weerstand (zie blz. 40:  $T_1 \gg$ ,  $Phor \ll$ ) is dus zeer gering: verschillen in grondwaterstand over korte afstand kunnen nauwelijks in stand worden gehouden.
- \* Het maaiveld loopt af in westelijke richting, vrijwel loodrecht op de isohypsen van het grondwater. Over het algemeen bestaat het gebied uit een vlak maaiveld ongeveer 1 tot 1.5 m boven het grondwater en de Reest, waarvan het peil enigszins afhankelijk van het jaargetijde, onder het grondwaterpeil ligt.

### De oorzaak tot verdroging:

- \* Waarschijnlijk niet de grondwaterwinningen te Zuidwolde (1 mln  $m^3$ /jaar) en Witharen (5 mln  $m^3$ /jaar) uit het middeldiepe pakket, beide op 6 km afstand (zie blz.46, formule de Glee).

De invloed van de winningen op het Reestdal kunen eenvoudig met de formule van de Glee worden berekend:



$$\text{daling} = \frac{Q}{2 * \pi * kD} * K_0 \left( \frac{r}{\lambda} \right) = \text{ca. } 1 \text{ mm}$$

$kD = 3000 \text{ m}^2/\text{dag}$ ,

$c\text{-Eemklei} = \text{ca. } 300 \text{ dagen (geschat)}$ ,

$\lambda = \sqrt{kD * c} = 950 \text{ m}$ ,

$r/\lambda = 6000/950 = 6.32$ ,

$K_0(x)$  opzoeken: 0.001 (tabel pag.47)

- \* Onder andere de regionale verlaging van de grondwaterstand door uitgebreide ontwatering van de voorheen vaak drassige gronden. Ook de afvoercapaciteit van de Reest moest worden verhoogd, waardoor hij waarschijnlijk wat dieper ligt dan vroeger en meer drainerend is gaan werken. Tezamen gaf dat een regionale verlaging van het grondwater, maar de Reest wordt nog door kwel gevoed omdat die zelf dieper ligt t.o.v. van de omgeving. Veel maaiveld kwel is wel verdwenen. Een andere oorzaak is het wegvallen van de natuurlijke bron van de Reest: het hoogveengebied.

#### Maatregelen (zie blz. 24)

Mogelijke oplossingen om de maaiveldkwel terug te brengen zijn:

- \* Peilverhoging in de Reest door wateraanvoer (zie blz. 29 par. 4.5.3)  
nadeel: de kwaliteit van gebiedsvreemd water is nu onvoldoende voor de aquatische ecologie
- \* Peilverhoging in Reest door het plaatsen van stuwen (zie blz. 28 par. 4.4.1)  
nadeel: de stroomsnelheid in de Reest zal afnemen waardoor het karakter van de beek verandert
- \* Peilverhoging in de Reest door verondieping (zie blz. 28 par. 4.4.2)  
nadeel: de kans bestaat dat de kwel naar de Reest toe verdwijnt. Het is niet zeker dat de verdroging in het dal veroorzaakt wordt door de drainerende

werking van de verdiepte Reest of door de ontwatering in het aangrenzende landbouwgebied of door een combinatie van beide. Om daarover uitsluitel te krijgen moeten de grondwaterpotentialen en maaiveldhoogten nauwkeurig in kaart gebracht worden.

Als na meting van potentiaal en maaiveld blijkt dat:

- a. potentiaal oeverwal > maaiveldhoogte beemden  
-----> verondiepen is zinvol
- b. potentiaal oeverwal < maaiveldhoogte beemden  
-----> verondiepen alleen heeft geen effect

In het laatste geval zal de potentiaal in de omgeving van het Reestdal verhoogd moeten worden. Het regionaal vernatten kan door de ontwateringsbasis te verhogen en de gebieden met vernattingschade onderbemalen of uitkopen (zie blz. 27 par. 4.3.2)

### Eindconclusie

Om de verdroging van het Reestdal te bestrijden lijkt het verondiepen van de Reest de beste oplossing. Wel moeten nauwkeurige metingen van grondwaterpotentiaal en maaiveldhoogten uitsluitel geven over de kwelpotenties in het Reestdal. Als de potenties onvoldoende zijn moet de ontwatering in de omgeving geminimaliseerd worden om voldoende potentiaal in de oeverwallen op te bouwen.

De NOV-14 methode geeft inzicht in de samenhang tussen verschillende kaarten. Met de verkregen informatie uit de kaarten en eenvoudige berekeningen kun je vrij snel inzicht krijgen in de hydrologie van een gebied en daardoor in mogelijke oorzaken van verdroging en oplossingsrichtingen in de bestrijding van verdroging.

BIJLAGE M: POMPSTATION ARCHEMERBERG

Het pompstation Archemerberg van de Waterleiding Maatschappij Overijssel ligt ongeveer 5 km ten zuiden van Ommen, nabij het hoogste punt van de Archemerberg. De vergunde jaarcapaciteit is 4 mln m<sup>3</sup>, wat overeenkomt met 10960 m<sup>3</sup>/dag. Het watervoerend vermogen van het pakket waaruit wordt onttrokken bedraagt ruwweg 2500 m<sup>2</sup>/dag. Scheidende lagen van betekenis zijn niet aanwezig, maar vanwege de anisotropie is een virtuele scheiding van 50 dagen aangehouden.

De bodemkaart van de omgeving is in figuur M.1 weergegeven. Hoewel de bodemkaart van 1977-1980 dateert, is hier aangenomen dat de lokale afvoer is af te leiden van de grondwatertrap, op de volgende manier:

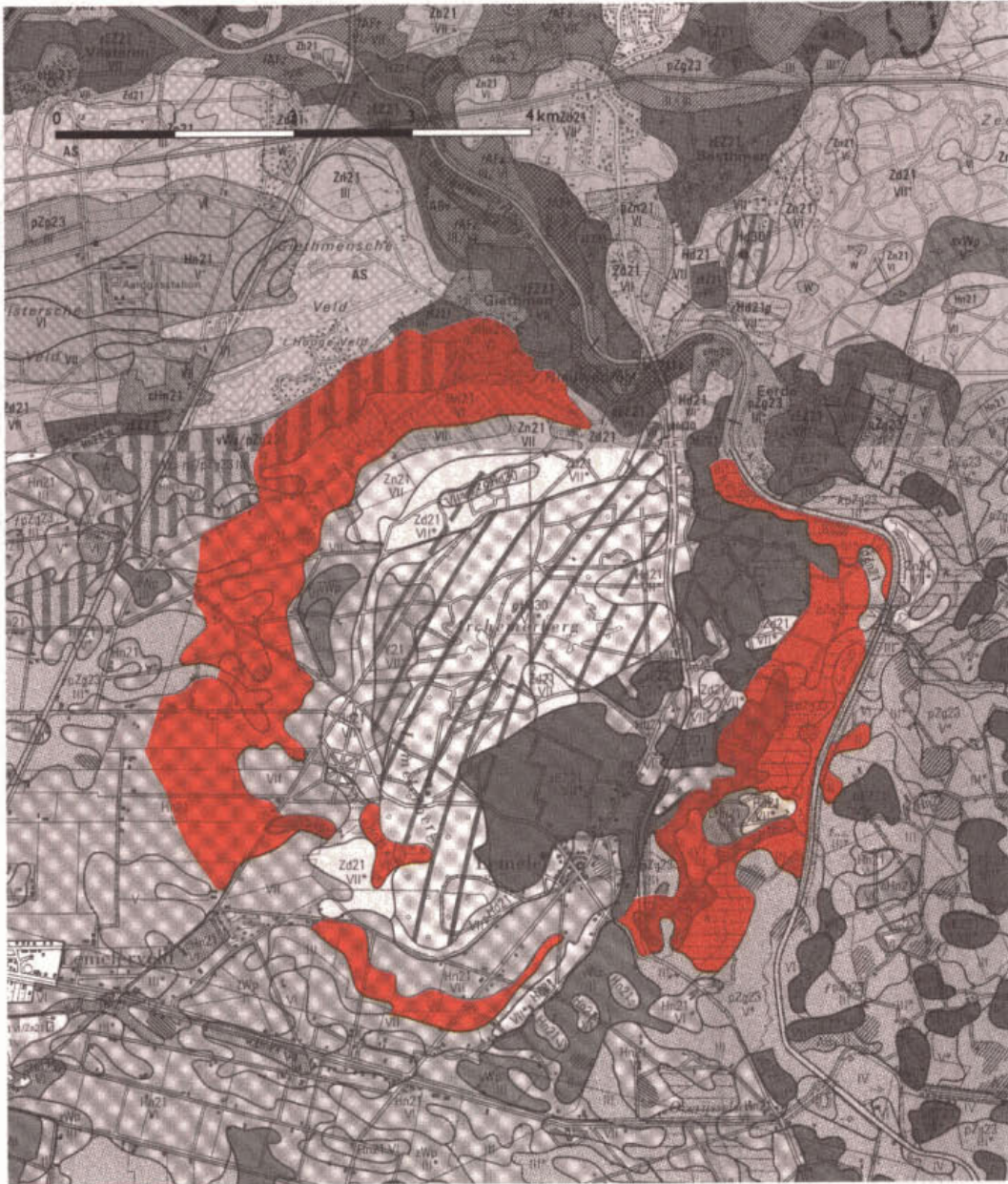
Gt	lokale afvoer, mm/jaar	Gt	lokale afvoer, mm/jaar
VII, VII*	0	III*	250
VI	50	III	300
V*	100	II*	400
V	150	II	600
IV	200	I	800

De afname van de afvoer is lineair aangenomen. Bij een daling van de freatische grondwaterstand van 0,35 m is alle afvoer verdwenen.

Ten oosten van de Archemerberg ligt de Beneden Regge. Voor deze rivier is aangenomen dat de extra instroming naar het watervoerend pakket 8000 mm/jaar bedraagt bij een freatische daling van eveneens 0,35 m. De breedte is geschat op 20 m. Langs deze weg kan de instroming vanuit rivieren op dezelfde wijze worden meegenomen als de afname van de lokale afvoer op de overige gronden.

De kunst is nu de verminderde afstroming in kaart te brengen, zodanig dat deze in totaal gelijk is aan de onttrekking. De verminderde afstroming hangt echter af

van de verlaging in het watervoerend pakket, terwijl de freatische verlaging nog gecorrigeerd moet worden voor de afscherpende werking van de scheidende laag.



Figuur M.1: Bodemkaart nabij pompstation Archemerberg, met gebieden die aanmerkelijk zijn beïnvloed door de onttrekking.

Het verlagingspatroon van een onttrekking hangt betrekkelijk weinig af van de ruimtelijke verdeling van de verminderde afstroming. Wanneer de invloed zich uitstrekt tot  $R$ , zal de daling van de potentiaal in het pakket ruwweg bedragen:

$$s_{\text{diep}} = \frac{Q}{150 * kD} (\sqrt{R} - \sqrt{r})$$

De daling van de freatische grondwaterstand  $s_{\text{ondiep}}$  is:

$$s_{\text{ondiep}} = \frac{w}{w + c} s_{\text{diep}}$$

waarin:  $w$  = drainageweerstand in dagen;  
 $c$  = weerstand van de scheidende laag boven het pakket waaruit wordt onttrokken.

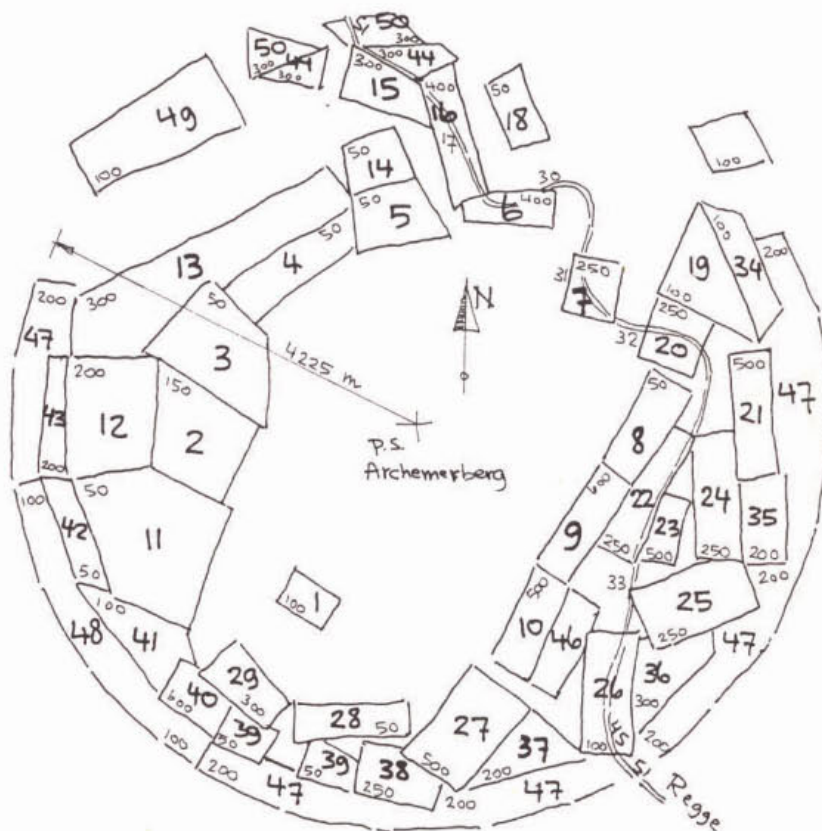
De procedure, die eenvoudig is uit te voeren in een spread sheet, gaat als volgt:

1. Kies een invloedsstraal  $R$  en bereken de verminderde afvoer van alle gronden binnen  $R$  (resp. de toename van de instroming vanuit grote watergangen zoals rivieren);
2. Bepaal het totaal van de verminderde uitstroming en ga na of deze gelijk is aan de grootte van de onttrekking. Als de verminderde uitstroming te klein is, moeten ook gronden binnen een grotere straal  $R$  worden meegenomen. Net zo lang tot het totaal overeenkomt met de grootte van de onttrekking. Op het laatst kan het debiet kloppend gemaakt worden door alleen nog  $R$  enigszins te variëren zonder gronden toe te voegen, want de buitenste gronden dragen weinig bij aan het debiet vanwege de zeer geringe verlaging aldaar.

In figuur M.2 zijn gebieden met hun lokale afvoer aangegeven, met tevens de berekende invloedsstraal  $R$ , die op 4225 m is berekend. De berekening met het spread sheet staat in tabel M.3.

De Regge levert een aanmerkelijke instroming. Voor een aantal deelgebiedjes is de oorspronkelijke lokale afvoer grotendeels verdwenen. In figuur M.1 zijn de gebieden aangegeven waar van de oorspronkelijke afvoer minder dan 30% over is gebleven: daar zal de invloed van de onttrekking duidelijk merkbaar zijn.

Ondertussen moet men zich realiseren dat het gevonden invloedspatroon slechts een ruwe schets is. Vanwege het aangenomen concentrische verlagingspatroon is de invloed naar het oosten (die volgens de berekening duidelijk het grootst is) overschat. De werkelijke invloed ligt dus wat meer naar het westen. Door de verwaarloosde anisotropie in de stuwwal zal de invloed in werkelijkheid ook wat meer naar het noorden en het zuiden zijn gelegen.



Figuur M.2: Genummerde deelgebieden bij Archemerberg, met oorspronkelijke lokale afvoer in mm/jaar.

## BEREKENING ARCHEMBERG

tabel M.3

debiet 10960 m<sup>3</sup>/dag  
 kadee 2500 m<sup>2</sup>/dag  
 c 50 dagen  
 ER 4225 m

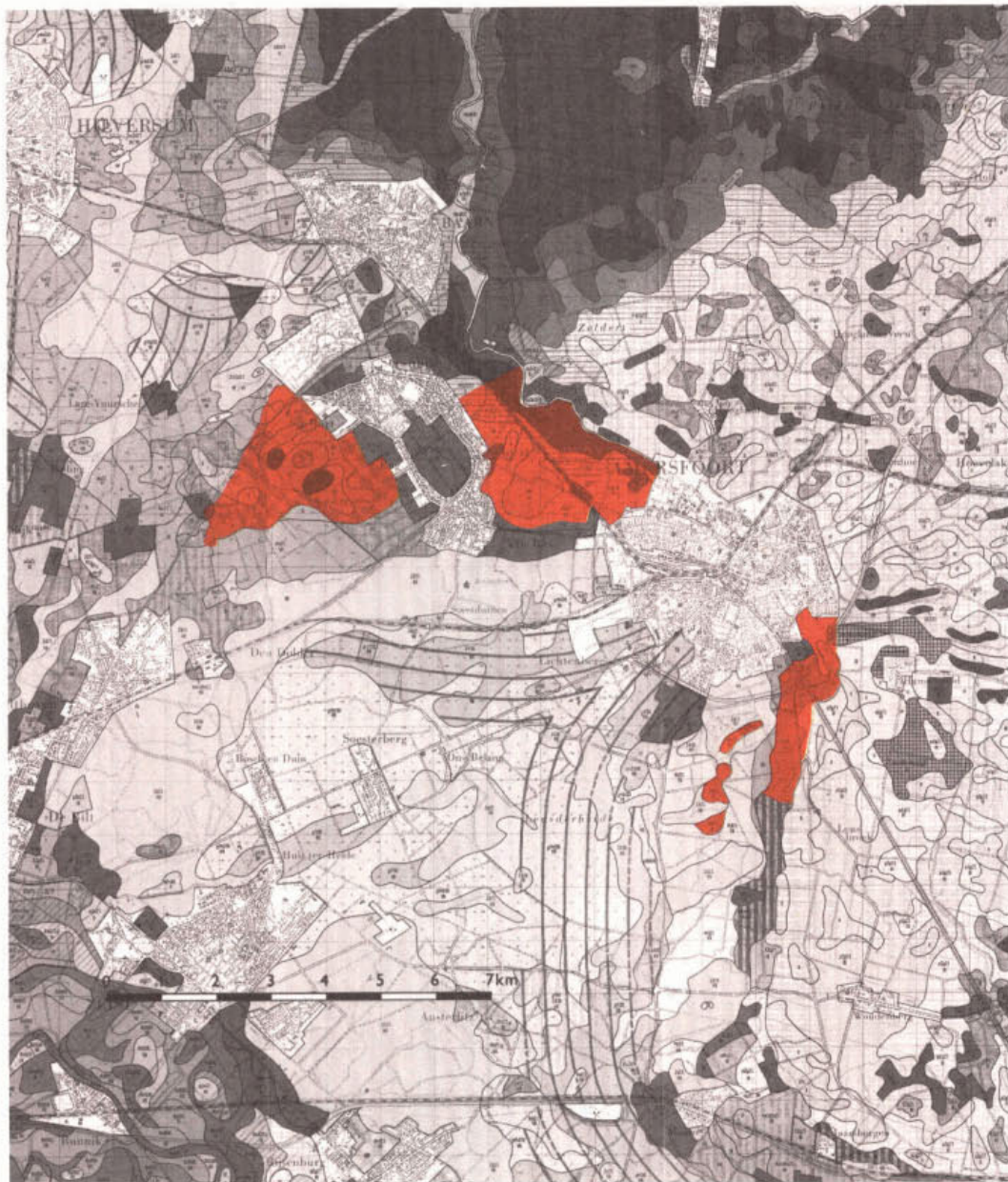
gebied	opp	LA	afstand	esdiep	wee	esfreat	kuu	inflow
1	23	100	2100	0.56	1250	0.54	100	63
2	100	150	2200	0.53	833	0.50	150	411
3	108	50	2200	0.53	2500	0.52	50	148
4	52	50	2000	0.59	2500	0.58	50	71
5	48	50	2100	0.56	2500	0.55	50	66
6	31	400	2400	0.47	313	0.40	400	340
7	30	250	2200	0.53	500	0.48	250	205
8	40	50	2300	0.50	2500	0.49	50	55
9	39	600	1900	0.63	208	0.50	600	641
10	40	500	2300	0.50	250	0.42	500	548
11	175	50	3000	0.30	2500	0.29	42	201
12	105	200	3200	0.25	625	0.23	130	375
13	160	300	2800	0.35	417	0.32	270	1185
14	30	50	2700	0.38	2500	0.37	50	41
15	45	300	3400	0.20	417	0.17	150	184
16	50	400	2800	0.35	313	0.30	348	477
17	3	8000	2900	0.33	16	0.08	1773	146
18	32	50	3300	0.22	2500	0.22	31	27
19	65	100	3200	0.25	1250	0.24	68	121
20	42	250	2700	0.38	500	0.35	247	285
21	50	500	3400	0.20	250	0.16	233	319
22	53	250	2400	0.47	500	0.43	250	363
23	20	500	2700	0.38	250	0.32	454	249
24	58	250	3200	0.25	500	0.22	160	254
25	72	250	3300	0.22	500	0.20	143	283
26	66	100	3400	0.20	1250	0.19	54	97
27	86	500	3200	0.25	250	0.21	293	691
28	36	50	3100	0.27	2500	0.27	38	38
29	35	300	3200	0.25	417	0.22	189	181
30	3	8000	2600	0.41	16	0.10	2228	183
31	3	8000	2500	0.44	16	0.10	2386	196
32	3	8000	2500	0.44	16	0.10	2386	196
33	8	8000	2600	0.41	16	0.10	2228	488
34	26	100	3700	0.12	1250	0.12	34	24
35	40	200	3700	0.12	625	0.11	65	71
36	35	300	3600	0.15	417	0.13	112	107
37	38	200	3600	0.15	625	0.14	77	80
38	43	250	3700	0.12	500	0.11	79	93
39	50	50	3700	0.12	2500	0.12	17	23
40	31	600	3700	0.12	208	0.10	169	143
41	60	100	3600	0.15	1250	0.14	40	66
42	36	50	3700	0.12	2500	0.12	17	17
43	26	200	3700	0.12	625	0.11	65	46
44	28	300	3700	0.12	417	0.11	93	72
45	1	8000	3700	0.12	16	0.03	664	18
46	44	500	2700	0.38	250	0.32	454	547
47	450	200	4000	0.05	625	0.05	27	334
48	150	100	4000	0.05	1250	0.05	14	58
49	100	100	4000	0.05	1250	0.05	14	39
50	70	300	4000	0.05	417	0.05	39	75
51	2	8000	4000	0.05	16	0.01	279	15
52	15	100	4000	0.05	1250	0.05	14	6

-----  
10962

opp oppervlak van deelgebiedjes, in ha  
 LA lokale afvoer, in mm/jaar  
 esdiep verlagings in het watervoerend pakket, in m  
 wee drainageweerstand, in dagen  
 esfreat freatische verlagings, in m  
 kuu verminderde uitstroming, resp. toegenomen instroming, in m<sup>3</sup>/jaar  
 inflow verminderde uitstroming, resp. toegenomen instroming, in m<sup>3</sup>/dag

**BIJLAGE N: POMPSTATION SOESTDUINEN**

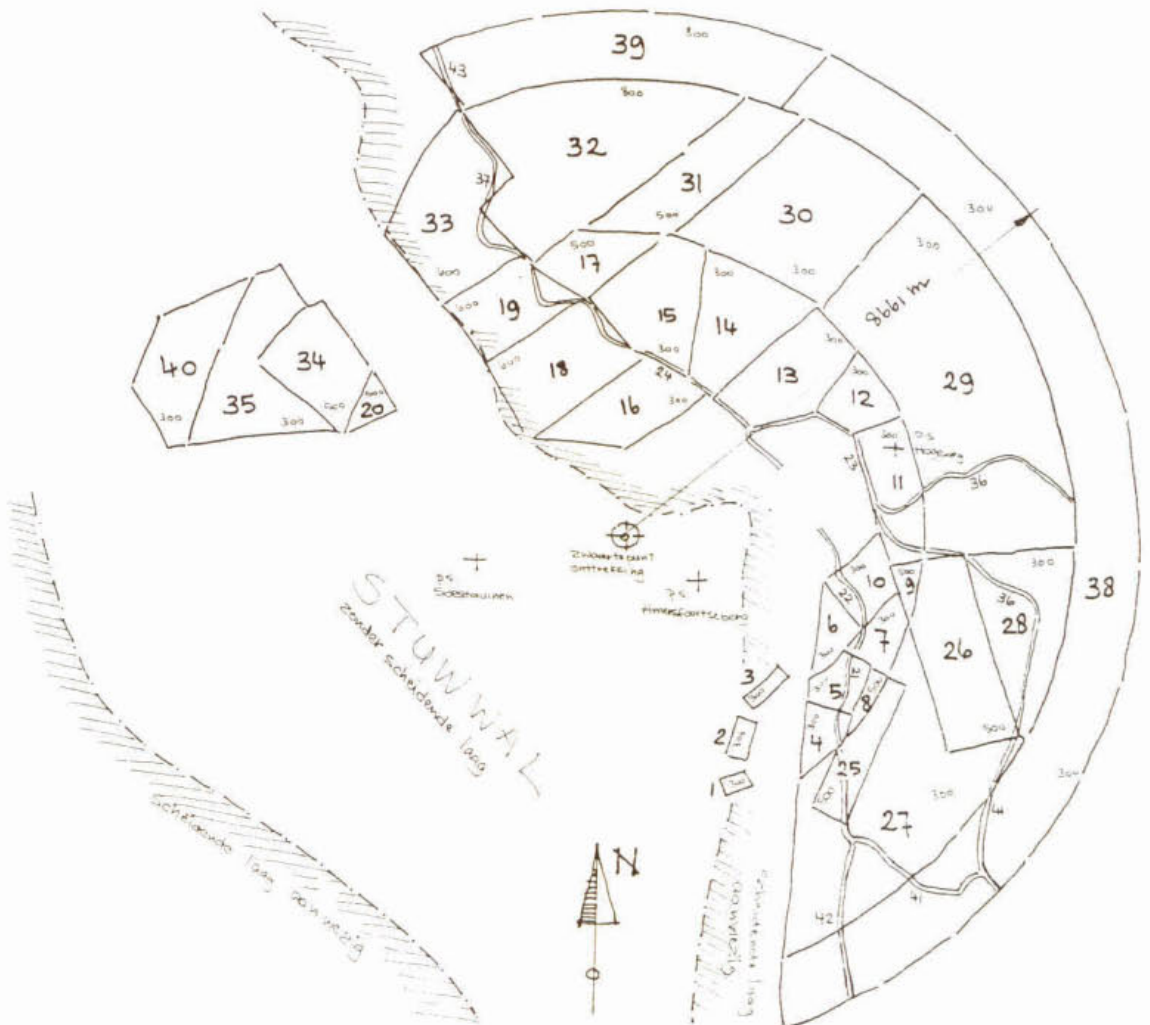
Op soortgelijke wijze als hiervoor voor het pompstation Archemerberg zijn enkele onttrekkingen nabij Amersfoort verkend. Het gaat om de pompstations Soestduinen (9 mln m<sup>3</sup>/jaar), Amersfoortseberg (2,9 mln) en Amersfoort Hogeweg (4,1 mln).



Figuur N.1: Situatie op bodemkaart bij Amersfoort, met deelgebieden die aanmerkelijk worden beïnvloed.



Het totaal van  $43800 \text{ m}^3/\text{dag}$  is geconcentreerd gedacht in het zwaartepunt van de onttrekkingen. In figuur N.1 is de bodemkaart weergegeven. In figuur N.2 zijn deelgebieden geschematiseerd met de oorspronkelijke lokale afvoer. De berekening is gepresenteerd in tabel N.3. De scheidende laag is niet uniform voor het gehele gebied: zowel ten westen van de Utrechtse heuvelrug (Sterksel/Kedichem) als ten oosten in de Gelderse vallei (Eem/Drenthe) is een scheidende laag aanwezig. In de stuwwal ontbreekt een duidelijke scheidende laag.



Figuur N.2: Genummerde deelgebieden bij Amersfoort met oorspronkelijke lokale afvoer in mm/jaar.

De berekende invloedsstraal is 8661 m. De deelgebieden die duidelijk zijn beïnvloed door de onttrekkingen zijn aangegeven in figuur N.1. Ook hier gaat het om een ruwe schets.

Het concentrische verlagingspatroon rijkt niet tot gebieden ten westen van de heuvelrug, terwijl van daar toch enige toestroming moet plaats vinden. De invloed zal daar waarschijnlijk nauwelijks merkbaar zijn, ook al vanwege de scheidende laag aldaar.

De berekende invloed van de grotere watergangen lijkt nogal aan de magere kant. Dat komt omdat zijwaartse uitstroming in het freatisch pakket niet is meegenomen. Het grondwater nabij de watergangen blijft in de berekening vrijwel op peil, terwijl in aanliggende gebieden de grondwaterstand soms aanmerkelijk daalt. De dalingen in de aanliggende gebieden zullen echter beperkt blijven onder invloed van de grotere watergangen.

Hoewel de onttrekkingen bij Amersfoort veel groter dan bij Archmerberg zijn de gebieden met een aanmerkelijke invloed veel kleiner. Dat komt door de weerstandbiedende lagen op de plaatsen waar beïnvloeding mogelijk is vanwege de lokale afvoer. De gebieden waar geen scheidende laag aanwezig is, zoals ten noordwesten van het pompstation Soesterberg en ten zuiden van Amersfoortseberg, ondervinden een forse invloed.

Schijnspiegels blijven moeilijk, trouwens ook bij toepassing van meer uitgebreide berekeningen/modellering. Een nat gebied met een schijnspiegel zal weinig door diepe potentiaalverlagingen worden beïnvloed, maar er bestaat geen makkelijke weg om zo'n schijnspiegel aan te tonen. Er valt niet te ontkomen aan boren, potentialen meten en onderzoek met georadar.

## BEREKENING SOESTDUINEN/AMERSFOORT

tabel N.3

debiet 43800 m<sup>3</sup>/dag  
 kadee 5000 m<sup>2</sup>/dag  
 ER 8661 m

gebied	opp	LA	afstand	cee	esdiep	wee	esfreat	kuu	inflow
1	13	300	4500	200	1.52	417	1.03	300	107
2	24	300	3900	200	1.79	417	1.21	300	197
3	20	300	3400	400	2.03	417	1.04	300	164
4	60	300	4700	1000	1.43	417	0.42	300	493
5	65	300	4400	1200	1.56	417	0.40	300	534
6	65	300	3800	1200	1.83	417	0.47	300	534
7	75	300	4600	2000	1.47	417	0.25	218	448
8	25	500	4850	1400	1.37	250	0.21	296	203
9	25	500	4800	2200	1.39	250	0.14	202	139
10	100	300	4100	2000	1.70	417	0.29	251	687
11	200	300	4600	2000	1.47	417	0.25	218	1194
12	100	300	4500	3000	1.52	417	0.19	159	435
13	260	300	3800	4000	1.83	417	0.17	148	1057
14	300	300	3900	5000	1.79	417	0.14	118	969
15	260	300	3900	3000	1.79	417	0.22	187	1331
16	190	300	2100	1800	2.76	417	0.52	300	1562
17	120	500	4600	2000	1.47	250	0.16	234	769
18	300	600	3000	1000	2.24	208	0.39	600	4932
19	220	600	4300	700	1.61	208	0.37	600	3616
20	40	500	4800	200	1.39	250	0.77	500	548
21	3	8000	4500	1500	1.52	16	0.02	358	29
22	5	8000	3800	1800	1.83	16	0.02	361	49
23	8	8000	4300	2000	1.61	16	0.01	284	62
24	13	8000	3000	3000	2.24	16	0.01	265	94
25	125	500	5200	1600	1.22	250	0.17	236	809
26	350	500	5900	2500	0.95	250	0.09	123	1182
27	850	300	6500	2200	0.73	417	0.12	99	2310
28	310	300	6700	2500	0.65	417	0.09	80	681
29	1350	300	6200	2500	0.84	417	0.12	102	3789
30	620	300	6100	5000	0.87	417	0.07	58	979
31	290	500	6100	3000	0.87	250	0.07	96	763
32	750	800	6200	2500	0.84	156	0.05	112	2311
33	250	600	6100	1000	0.87	208	0.15	258	1769
34	230	500	5800	200	0.99	250	0.55	500	3151
35	320	300	6700	200	0.65	417	0.44	300	2630
36	16	8000	6500	2500	0.73	16	0.00	103	45
37	6	8000	6300	1600	0.80	16	0.01	177	29
38	2100	300	7900	2500	0.24	417	0.03	30	1721
39	650	800	7900	3000	0.24	156	0.01	28	492
40	250	300	7900	200	0.24	417	0.17	141	969
41	6	8000	7900	2500	0.24	16	0.00	35	6
42	6	8000	7400	2500	0.41	16	0.00	58	10
43	2	8000	7900	2000	0.24	16	0.00	43	2

-----  
43800

opp oppervlak van deelgebiedjes, in ha  
 LA lokale afvoer, in mm/jaar  
 cee weerstand scheidende laag, in dagen  
 esdiep verlaging in het watervoerend pakket, in m  
 wee drainageweerstand, in dagen  
 esfreat freatische verlaging, in m  
 kuu verminderde uitstroming, resp. toegenomen instroming, in m<sup>3</sup>/jaar  
 inflow verminderde uitstroming, resp. toegenomen instroming, in m<sup>3</sup>/dag

