Beregening uit het grondwater op hogere gronden en het effect daarvan op lagere gronden

1. Inleiding

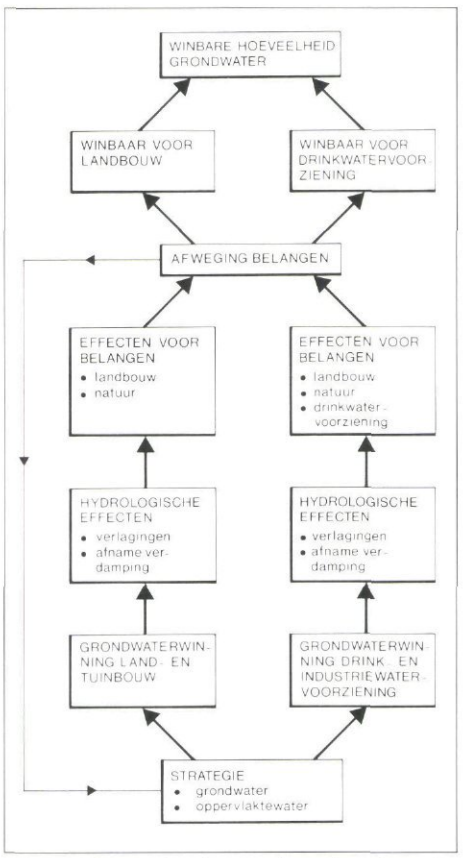
Sinds het droge zomerhalfjaar van 1976 zijn er tal van onderzoeken uitgevoerd naar de effecten van beregening uit het grondwater. De hoeveelheid grondwater die in een bepaald gebied onttrokken mag worden is namelijk niet onbeperkt groot. Beperkingen vloeien voort uit de wensen van verschillende bij het grondwater betrokken belangen om bepaalde verlagingen van de grondwaterstand niet te overschrijden. Soms levert het ook bezwaar op dat de intensiteit of de stromingsrichting van het grondwater



H. A. J. VAN LANEN
Rijksinstituut voor
Drinkwatervoorziening

verandert (bijvoorbeeld een afname van de kwel). Dit laatste houdt verband met de kwaliteit van het grondwater. Ook beïnvloedt grondwaterwinning voor beregening de winningsmogelijkheden van grondwater voor de drink- en industriewatervoorziening. Om een inzicht hierin te krijgen voert het Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening onderzoek uit naar de effecten van beregening. De schematische opbouw van dit onderzoek is in afb. 1 aangegeven. De effectvoorspelling van grondwaterwinning voor de land- en tuinbouw is gescheiden van die van de grondwaterwinning voor de drink- en industriewatervoorziening omdat, vanwege de verschillen in het winningstype, de effecten nooit hetzelfde kunnen zijn [Van Lanen, 1981].

Vanwege de voorkeur vanuit de landbouw om voor beregening gebruik te maken van oppervlaktewater zal de grootste vraag naar grondwater zich voordoen op de hoge gronden, waar oppervlaktewater-aanvoer niet realiseerbaar is (te duur). De vraag rijst nu hoeveel grondwater er op de hoge en middelhoge gronden gewonnen mag worden. De grootte van de toelaatbare grondwaterwinning op de hogere gronden hangt namelijk niet of nauwelijks af van de hydrologische effecten ter plaatse van de hogere gronden maar van de effecten in de aangrenzende gebieden. Op de hogere gronden treedt namelijk door grondwaterwinning geen of nauwelijks schade op aan de natuur of aan de landbouw ten gevolge van de relatief diepe grondwaterstanden. Dit geldt echter niet voor de lagere gronden waar, door de ondiepe grondwaterstanden, de planten gebruik maken van capillaire opstijging van bodemvocht uit het grondwater. Veranderingen in de grondwaterstand en eventueel de kwaliteit van het grondwater zullen in deze gebieden dan ook leiden tot bezwaren van de



Afb. 1 - Schematisch verloop van het onderzoek naar de winningsmogelijkheden van grondwater.

zijde van het natuurbeheer en de landbouwer die niet beregent.

Maatgevend voor de mate waarin op de hogere gronden uit het grondwater mag worden beregend is dus de beïnvloeding van de situatie op de lagere gronden. Op de grootte van dit zogenaamde uitstralingseffect en de rekenmethodiek waarmee dit wordt bepaald zal in dit artikel nader worden ingegaan. De inhoud van dit artikel is gebaseerd op een interne RID-nota met dezelfde titel [Van Lanen, 1982].

2. Rekenmethodiek

Allereerst zal worden ingegaan op de eisen die aan de rekenmethodiek moeten worden gesteld. Daarna zal de opzet van de rekenmethode worden beschreven.

2.1. *Eisen*

Uit het schema van afb. 1 kan men afleiden dat de keuze van de rekenmethodiek voor het voorspellen van de hydrologische effecten moet samenhangen met de stap die daarna volgt. De daaropvolgende stap bestaat uit het voorspellen van de effecten op belangen zoals het natuurbehoud en de landbouwer die niet beregent. De resultaten van de hydrologische effectvoorspelling worden namelijk als invoergegeven gebruikt voor methoden waarmee de beïnvloeding van de belangen wordt vastgesteld. Om de effecten op de lagere gronden van beregening uit het grondwater op de hogere gronden te kunnen voorspellen, moeten de volgende eisen aan de rekenmethodiek worden gesteld:

- De verlaging van de grondwaterstand als functie van de plaats en de tijd moet kunnen worden bepaald (landbouw en natuurbehoud). Met naar plaats wordt onder meer ook bedoeld dat rekening moet worden gehouden met het verschil in verlaging tussen de beregende en de niet-beregende gronden.
- De afname van de verdamping op de niet-beregende gronden moet kunnen worden vastgesteld (landbouw).
- De afname van de kwel moet kunnen worden berekend (natuurbehoud).
- Binnen het gebied moet qua eigenschappen een verschil kunnen worden gemaakt tussen hoge, middelhoge en lage gronden (landbouw en natuurbehoud).

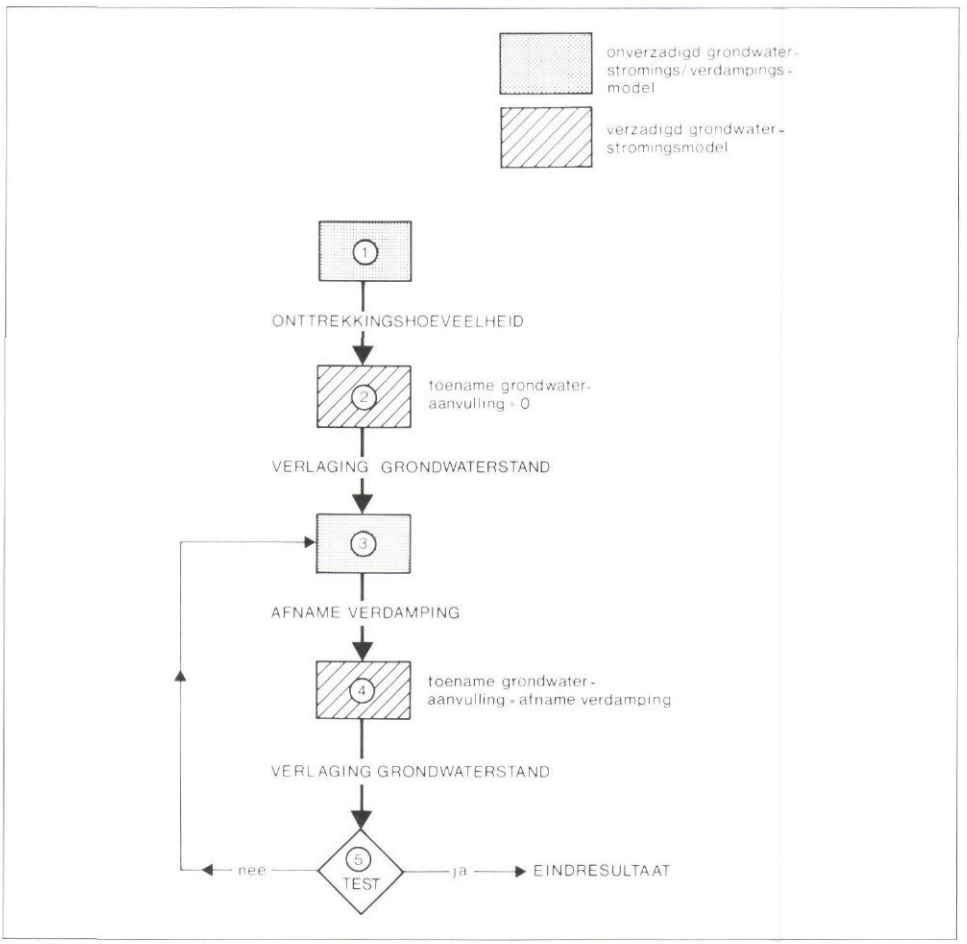
Uit de eisen kan men afleiden dat de rekenmethodiek zowel rekening moet houden met de verzadigde grondwaterstroming als met de onverzadigde grondwaterstroming en verdamping. Om verschillen gedurende een zomerhalfjaar te

TABEL I – *Mate waarin de tot nu toe gebruikte rekenmethodieken voldoen aan de eisen (+ = wel rekening; – = geen rekening).*

Methode	Grondwaterstandsdaling: plaats	Grondwaterstandsdaling: tijd	Afname verdamping	Afname kwel	Heterogeniteit
Ernst en Feddes (1979)	—*	+	—***	—	—
SWLT-onderzoek; V. d. Giessen (1980)	—*	+	—***	—	—
GELGAM; Awater en De Laat (1980)	+	+	+	+	+
Van Lanen (1981)	1	1	+	+	—
PAWN-onderzoek; Abrahamse e.a. (1982)	—*	+	—****	—	+
V. d. Velde en Overmars (1982)	+	—**	—****	+	—

* Binnen het kleinste gebied dat wordt onderscheiden is de verlaging constant; gebieden kennen ten aanzien van de grondwaterstroming geen interactie.
** Alleen verschillen van jaar tot jaar; niet het verloop binnen een jaar.
*** Alleen te bepalen wanneer wordt aangenomen dat de verlaging op de niet-beregende gronden gelijk wordt gesteld aan die op de beregende gronden.
**** Volgt niet direct uit de methode maar is wel uit de verlaging af te leiden.

kunnen verdisconteren, moet de methodiek niet-stationaire processen kunnen simuleren. Vanwege de eis, dat rekening moet kunnen worden gehouden met heterogeniteit binnen een gebied, moet het model een numeriek model zijn. Ondanks het onderzoek dat tot nu toe is uitgevoerd, voldoen de meeste rekenmethoden niet aan al de eisen (tabel I). Alleen het model GELGAM is qua concept geschikt. Het rekenen met het model GELGAM vergt echter relatief veel inspanning. Bovendien is de huidige versie van het model GELGAM, zoals die geïmplementeerd is op de computer van de Dienst Informatie Verwerking van Rijkswaterstaat, niet zonder meer geschikt voor het bepalen van de effecten van beregening uit het grondwater. Momenteel wordt in het kader van de activiteiten van de Studiegroep Sleen gewerkt aan aanpassingen van het model GELGAM om de beperkingen te ondervangen [Van Lanen, 1983].
Als alternatief voor het model GELGAM en andere, eenvoudiger rekenmethodieken (tabel I) wordt met name voor grote gebieden in dit artikel een tussenoplossing gepresenteerd. Overigens blijft een (aangepaste) versie van het model GELGAM een noodzakelijk hulpmiddel om in kleinere (proef-)gebieden vast te stellen in welke mate men hydrologische berekeningsmethoden mag vereenvoudigen.



Afb. 2 - Schematisch verloop van de rekenprocedure.

2.2. *Beschrijving van de rekenmethode*

De hier gepresenteerde rekenmethode voor het bepalen van de hydrologische effecten van beregening uit het grondwater op de hogere gronden en de uitstraling daarvan naar de lagere gronden gaat uit van een *losgekoppelde benadering* van de verzadigde grondwaterstroming enerzijds en de onverzadigde grondwaterstroming en verdamping anderzijds. De niet-stationaire verzadigde grondwaterstroming wordt beschreven met een numeriek model, dat uitgaat van de eindige elementenmethode en het superpositie-beginsel. Gekozen is voor een model dat bekend staat onder de RID-codenaam TRANSRECT en waarvan Van den Akker (RID) de grondlegger is. De onverzadigde grondwaterstroming en verdamping wordt gesimuleerd met een pseudo-stationaire oplossingsmethode [De Laat, 1980 en 1982]. Omdat er een interactie bestaat tussen de verdamping, de onverzadigde en de verzadigde grondwaterstroming wordt, om consistente resultaten te verkrijgen, een iteratieprocedure uitgevoerd. De opzet van de rekenmethode wordt schematisch in afb. 2 weergegeven. Achtereenvolgens zullen de verschillende stappen nader worden besproken. Voor de volledigheid wordt nog opgemerkt dat voor de simulatie van de verzadigde of onverzadigde grondwaterstroming ook andere modellen kunnen worden gebruikt. Bijvoorbeeld voor de beschrijving van de onverzadigde grondwaterstroming zou ook het model SWATRE [Belmans e.a., 1983] of ONZAT [Van Drecht, 1982] kunnen worden toegepast.

Stap 1
De rekenprocedure start met de toepassing van het model voor onverzadigde grondwaterstroming en verdamping. Met dit model wordt voor de situatie zonder beregening (uitgangssituatie) voor alle punten c.q. kaartvlakken binnen het onderzoeksgebied de werkelijke verdamping berekend. Dit gebeurt aan de hand van meteorologische gegevens, de bodemgesteldheid en het grondwaterstandsverloop of de grondwatertrap [De Laat, 1982]. Uit het verschil tussen de potentiële verdamping (gewasfactor x openwaterverdamping) en de werkelijke verdamping wordt voor de punten c.q. vlakken die mogen worden beregend de onttrekkingshoeveelheid bepaald. Bij de bepaling van de onttrekkingshoeveelheid moet men verdisconteren dat de grond, wanneer wordt beregend, aanmerkelijk minder ver mag uitdrogen dan zonder beregening [Van Lanen, 1983]. De op deze manier bepaalde onttrekkingshoeveelheid, vermeerderd met eventuele verliezen (bijvoorbeeld extra verdampingsverliezen), wordt als randvoorwaarde gebruikt bij de berekeningen met het verzadigd grondwaterstromingsmodel (stap 2 en 4).

Stap 2
Na de toepassing van het model voor onverzadigde grondwaterstroming en verdamping wordt het model voor de beschrijving van de verzadigde grondwaterstroming toegepast (afb. 2). Bij de toepassing wordt over het onderzoeksgebied een knooppuntennetwerk gelegd (bijvoorbeeld om de 250 m een punt). De in stap 1 berekende onttrekkingshoeveelheid wordt aan de knooppunten toegekend die binnen de vlakken liggen die mogen worden beregend. Het grondwater dat voor de beregening wordt gewonnen kan aan het pakket met freatisch water maar ook aan dieper, onder kleilagen gelegen watervoerende pakketten worden onttrokken. De diepte van de onttrekking heeft bij aanwezigheid van kleilagen uiteraard invloed op de verspreiding van de effecten over een gebied.
Bij de toepassing van het zogenaamde superpositie-beginsel worden geen werkelijke grondwaterstanden, beekafvoeren e.d.

gesimuleerd maar uit de berekening volgen direct de verlaging van de grondwaterstanden en de verandering van de beekafvoeren die het gevolg zijn van de grondwaterwinning voor beregening. Deze veranderingen mag men optellen (superponeren) op de grondwaterstanden, beekafvoeren e.d. die behoren bij de uitgangssituatie.
De voor beregening gewonnen hoeveelheid grondwater op de hogere gronden zal in eerste instantie worden gecompenseerd door een afname van de grondwaterberging ter plaatse. Dit gaat echter gepaard met een verlaging van de grondwaterstand. Hierdoor neemt de grondwaterafstroming naar de niet-beregende gronden af waardoor daar op den duur ook verlagingen van de grondwaterstand zullen gaan optreden. Ter plaatse van de lagere gronden zal veelal een oppervlaktewater-stelsel aanwezig zijn. Door de verlaging van de grondwaterstand zal daar een afname van de grondwaterafvoer naar het oppervlaktewater optreden (opbolling neemt af). Ook is het mogelijk dat de infiltratie van oppervlaktewater toeneemt (uitholling neemt toe). Grondwaterwinning voor beregening wordt dus gecompenseerd door een afname van de grondwaterberging en een afname van de oppervlaktewaterafvoer of eventueel een toename van de infiltratie van oppervlaktewater. Deze processen worden door het verzadigd grondwaterstromingsmodel gesimuleerd. Het resultaat van de berekeningen met dit model zijn veranderingen van de grondwaterberging, afname van de drainage of toename van de infiltratie voor zover oppervlaktewater aanwezig is en verlagingen van de grondwaterstand. Al deze grootheden worden als functie van plaats en tijd uitgevoerd.
De berekeningen met het verzadigd grondwaterstromingsmodel kunnen worden uitgevoerd als de gebiedseigenschappen (weerstand kleilagen, doorlaatvermogen van watervoerende pakketten, weerstanden van het oppervlaktewater-stelsel, freatische bergingscoëfficiënt e.d.) en de randvoorwaarden bekend zijn. De randvoorwaarden voor het probleem, die moeten worden opgegeven, vormen de grondwaterwinningen voor beregening alsmede de veranderingen in de oppervlaktewater-peilen en de grondwateraanvulling ten gevolge van die grondwaterwinning. Wanneer de berekeningen worden uitgevoerd voor een gebied met een beperkte oppervlakte, moeten tevens de veranderingen van de grondwaterstanden of grondwaterstroming ter plaatse van de modelrand worden aangegeven. Wanneer in eerste instantie wordt aangenomen dat het gebied voldoende groot is en dat de oppervlaktewater-peilen niet worden beïnvloed dan blijven als onbekende randvoorwaarden over: de grondwaterwinningen voor beregening en de verandering van de grondwateraanvulling. De grootte van de grondwaterwinningen voor beregening zijn in stap 1 bepaald. Derhalve blijft als enige onbekende randvoorwaarde de verandering van de grondwateraanvulling over. Deze verandering die alleen maar optreedt op de niet-beregende gronden en die het gevolg is van een afname van de verdamping is in deze stap nog onbekend. Voor de bepaling van de verdamping is de ook nog onbekende verlaging van de grondwaterstand nodig. In deze stap wordt daarom uitgegaan van de aanname dat er geen verandering van de grondwateraanvulling optreedt. Gebruikmakend van deze aanname kan nu de verlaging van de grondwaterstand als functie van plaats en tijd ten gevolge van de grondwateronttrekking voor beregening worden bepaald.

Stap 3
In deze fase is in elk punt c.q. kaartvlak het verloop van de grondwaterstandsverlaging bekend. Voor de vlakken die *niet worden beregend* wordt deze verlaging, die niet constant is, opgeteld bij de grondwaterstand van de uitgangssituatie. De berekeningen met het model voor de onverzadigde grondwaterstroming en verdamping worden vervolgens voor de niet-beregende punten herhaald met als randvoorwaarde het beïnvloede grondwaterstandsverloop. De afname van de verdamping op de niet-beregende gronden (= verandering van de grondwateraanvulling) wordt daarna per punt bepaald door de werkelijke verdamping voor de uitgangssituatie (stap 1) te verminderen met de in deze stap berekende werkelijke verdamping. Het resultaat van deze stap vormt dus de verandering van de grondwateraanvulling voor elk punt dat niet wordt beregend.

Stap 4
In deze stap wordt evenals in stap 2 het verzadigd grondwaterstromingsmodel toegepast. Het verschil met stap 2 bestaat uit een andere grootte van de verandering van de grondwateraanvulling op de niet-beregende gronden. In stap 4 wordt uitgegaan van de afname van de verdamping, die in stap 3 is uitgerekend. Het resultaat van deze berekening is het verloop van de grondwaterstandsverlaging ten gevolge van grondwaterwinning voor beregening als functie van plaats en tijd rekening houdend met een eventuele afname van de verdamping.

Stap 5
In deze fase wordt gecontroleerd of er voldoende rekening is gehouden met de interactie tussen de verdamping, de verzadigde en de onverzadigde grondwaterstroming. Dit wordt gecontroleerd met behulp van het berekende verloop van de grondwaterstandsverlaging voor de situatie waarbij is aangenomen dat er geen verandering van de grondwateraanvulling optreedt (stap 2) en het verloop voor de situatie waarbij er wel rekening is gehouden met een afname van de verdamping (stap 4). Wanneer de verschillen tussen beide verlopen gering zijn betekent dit dat de grondwaterwinning voor beregening weinig invloed heeft op de verdamping van de niet-beregende gronden. In dat geval is de verlaging van de grondwaterstand en de afname van de verdamping en derhalve het eindresultaat bekend. In feite is het soms al mogelijk de berekeningen te stoppen nadat de berekeningen met het model voor onverzadigde grondwaterstroming en verdamping zijn uitgevoerd (stap 3). Wanneer namelijk tijdens deze stap blijkt dat er bij de verlaging uit stap 2 geen afname van de verdamping optreedt dan is het verloop van de verlaging uit stap 2 het eindresultaat. Wanneer de verschillen tussen de berekende verlaging van de grondwaterstand uit stap 2 en 4 te groot zijn dan moeten de stappen 3 en 4 worden herhaald (start 2e iteratie). De afname van de verdamping wordt wederom bepaald (stap 3) voor de niet-beregende gronden, maar nu niet meer uitgaande van het verloop van de verlaging uit de stap 2 maar uitgaande van het verloop van de verlaging berekend in stap 4 van de voorafgaande iteratie. Wanneer de afname van de verdamping opnieuw is vastgesteld voor de niet-beregende gronden wordt het verzadigde grondwaterstromingsmodel opnieuw toegepast met de bijgestelde grondwateraanvulling (stap 4). Het berekende verloop van de grondwaterstandsverlaging wordt vervolgens vergeleken met dat uit de voorafgaande iteratiestap. Stap 3 t/m 5 worden net zolang herhaald dat er, binnen een zekere tolerantie, geen verschil meer bestaat tussen het berekende verloop van de verlaging van de grondwaterstand (stap 4) uit de laatste en de voorlaatste iteratiestap in elk van de onderscheiden punten.

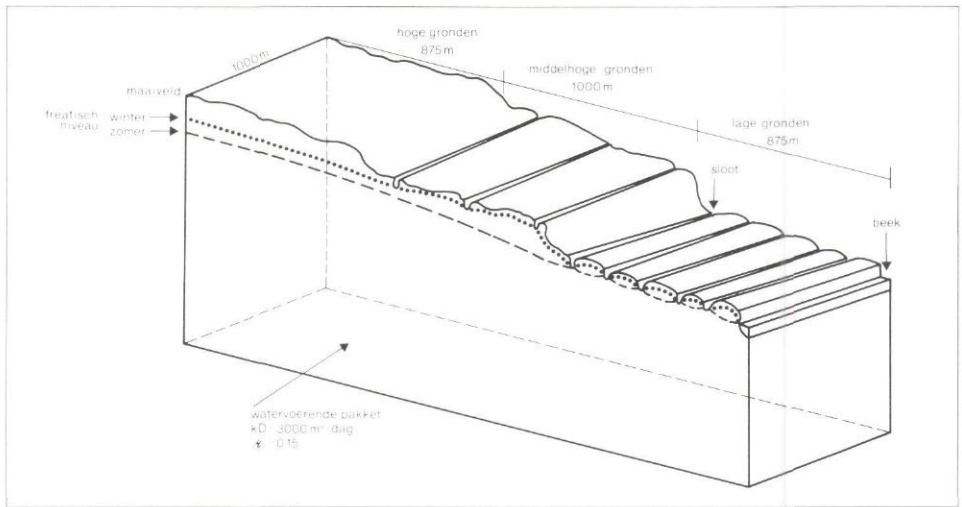
3. Toepassing in Oost-Gelderland

Ter illustratie is de rekenmethode toegepast in Oost-Gelderland. Enerzijds is voor een bestaand gebied gekozen om ervaring op te doen met de rekenmethodiek voor een concrete situatie. Anderzijds is voor Oost-Gelderland gekozen omdat in dit zandgebied intensief uit het grondwater wordt beregend [Van Boheemen e.a., 1979] en een rendabele watervoorziening uit het oppervlaktewater moeilijk te realiseren is. Om niet geheel Oost-Gelderland in model te hoeven brengen zijn enkele aannamen gedaan ten aanzien van de schematisering van het gebied en de bijbehorende eigenschappen, waardoor slechts een klein gebied nader beschouwd behoeft te worden. Allereerst zal worden

ingegaan op deze aannamen en op de gebiedseigenschappen die in het model zijn ingevoerd. Daarna worden de resultaten gepresenteerd, die gezien de toegepaste schematisering een indicatief karakter dragen.

3.1. *Aannamen en invoergegevens*

De bij benadering evenwijdig, oost-west stromende beken in Oost-Gelderland maken het mogelijk dit gebied op te vatten als een gebied met een aantal evenwijdig verlopende oneindig lange landstroken. Dit gebied met een zekere uitgestrektheid kan aldus worden geschematiseerd tot een strook met lage gronden langs een beek, vervolgens evenwijdig daaraan een strook met middelhoge gronden en weer evenwijdig daaraan een strook met hoge gronden. In een dwarsdoorsnede van het gebied herhaalt zich dit beeld telkens (afb. 3). Verder wordt aangenomen dat de landstroken met lage, middelhoge en hoge gronden qua hydrologische eigenschappen onderling mogen verschillen maar dat deze stroken intern wel dezelfde hydrologische eigenschappen hebben. Ook wordt aangenomen dat overal in Oost-Gelderland in de toekomst op dezelfde type gronden bij benadering hetzelfde wordt beregend (grootte van de gift en behandelde oppervlakte). Deze aannamen maken het overbodig geheel Oost-Gelderland (afb. 3) in het model te beschouwen. Het grote gebied kan worden opgedeeld in een aantal kleinere gebieden (afb. 3 en 4), die onderling geen verschil kennen ten aanzien van het beregeningspatroon en de hydrologische eigenschappen. De hydrologische effecten van grondwaterwinning voor beregening zullen in elk van deze kleinere gebieden hetzelfde zijn. De oppervlakte van zo'n klein gebied wordt bepaald door de afstand tussen de beken. De lengte van het gebied is namelijk gelijk aan de afstand tussen het midden van de strook met de lage gronden, waar de beek ligt, en het midden van de strook met hogere gronden (topografische waterscheiding). De breedte van het kleine gebied wordt op 1 km gesteld. Theoretisch gezien is de breedte onbelangrijk omdat met een verticale dwarsdoorsnede zou hebben kunnen worden volstaan. Met het gebruikte model voor verzadigde grondwaterstroming is het echter onmogelijk de stroming in een dergelijke doorsnede te simuleren en daarom wordt uitgegaan van genoemde breedte.



Afb. 4 - Schematische opbouw van een blok uit een uitgestrekt gebied (zie afb. 3).

De hydrologische effecten van beregening uit het grondwater zijn berekend voor de weersomstandigheden zoals die zich van 1971 t/m 1980 hebben voorgedaan. In deze 10-jarige periode komen zowel natte als droge tot extreem droge zomerhalfjaren voor. Naast de invloed van de droogte van de verschillende jaren is ook de invloed van verschillende beregeningsscenario's onderzocht (tabel II). De percentages van 40 en 65% van de oppervlakte cultuurgrond komen respectievelijk overeen met het zogenaamde tussen- en maximum-scenario van de Studiecommissie Waterbehoefte Land- en Tuinbouw [SWLT, 1980] voor het oostelijk zandgebied. Hierbij moet overigens worden aangetekend dat de SWLT bij haar prognoses ten aanzien van de behandelde oppervlakte ook de lage gronden heeft betrokken terwijl bij de onderhavige berekeningen wordt aangenomen dat deze niet uit het grondwater worden beregend. Over het algemeen zijn namelijk de lage gronden niet of nauwelijks droogtegevoelig (situatie zonder grondwaterstandsverlaging) en bestaat er soms de mogelijkheid om oppervlaktewater als bron voor de beregening te gebruiken. Behalve weergegevens ten aanzien van de te behandelen oppervlakte is ook informatie nodig over de bodemgesteldheid, de eigenschappen van het oppervlaktewater-stelsel, de freatische bergingscoëfficiënt, de geohydrologische opbouw en het oppervlakte-aandeel van de hoge, middelhoge en lage gronden. Deze gegevens, die zijn samengevat in tabel IV, zijn voor het grootste gedeelte afkomstig uit basisrapporten van de Commissie Bestudering Waterhuishouding Gelderland [Bouma, 1979 en Awater en De Laat, 1980].

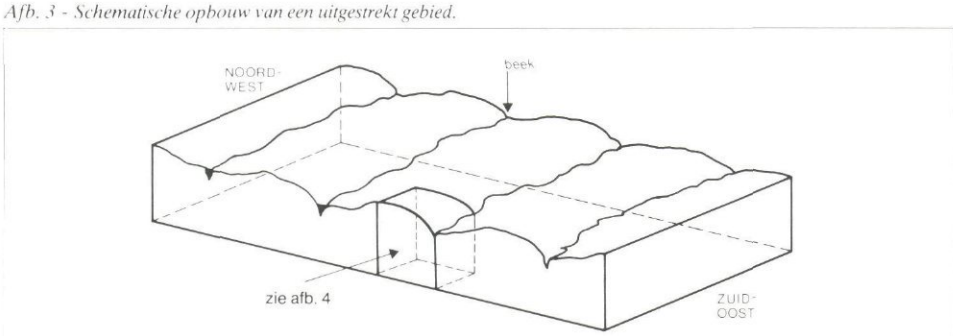
3.2. *Resultaten*

Allereerst is aan de hand van de bodemgesteldheid, de meteorologische omstandigheden en de grondwatertrap de onttrekkingshoeveelheid (= watergift) bepaald voor de gronden die mogen worden beregend. Deze wordt tezamen met de

TABEL II – *De behandelde oppervlakte cultuurgrond op de hoge en middelhoge gronden bij verschillende beregeningsscenario's.*

	Behandelde oppervlakte uit het grondwater (% van het totaal)	
Scenario	hoge gronden	middelhoge gronden
A	40	0
B	40	40
C	65	0
D	65	65

Afb. 3 - Schematische opbouw van een uitgestrekt gebied.



TABEL III – *De droogtegraad en de grootte van de berekende watergift voor de jaren 1971 t/m 1980 in Oost-Gelderland.*

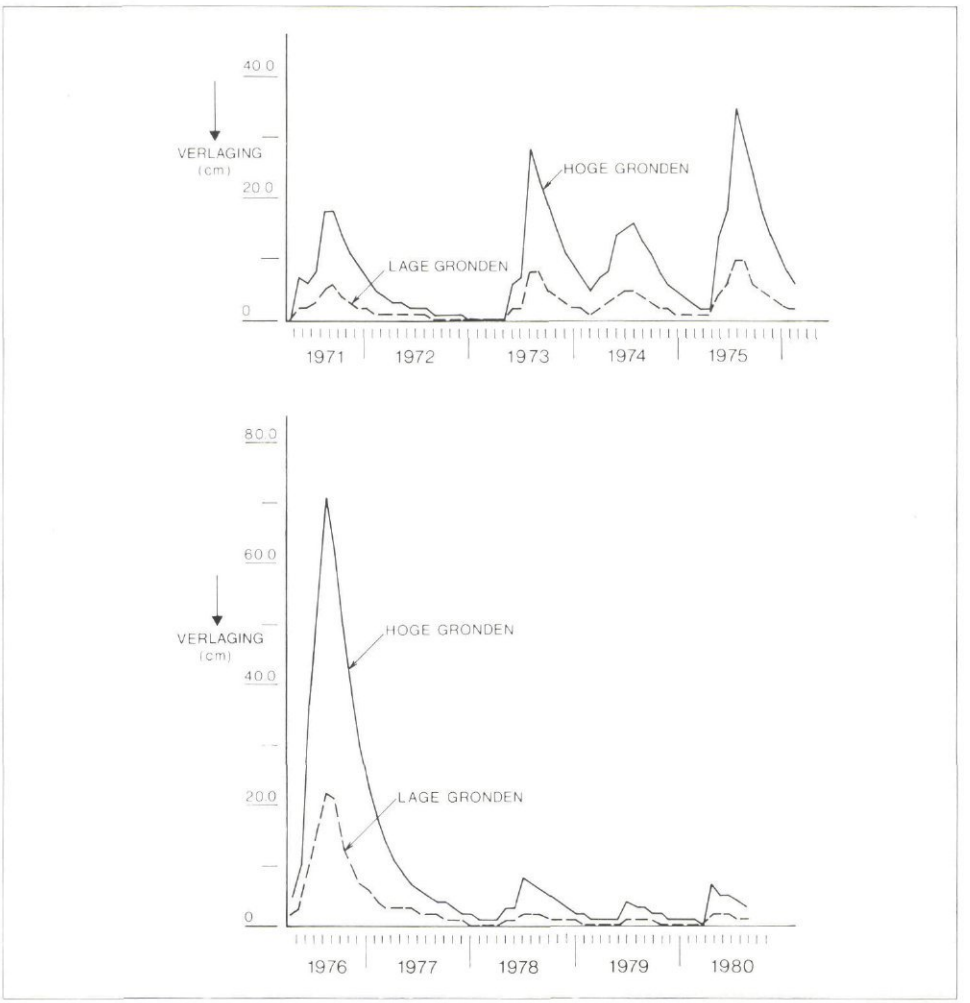
Jaar	Droogtegraad (%)	Watergift (mm)
1971	20	74
1972	90	0
1973	30	93
1974	50	58
1975	7	120
1976	3	265
1977	55	0
1978	45	26
1979	50	10
1980	60	19

TABEL IV – *De gebruikte gegevens voor het vaststellen van de hydrologische effecten van beregening in Oost-Gelderland.*

Geohydrologie:
Eén freatisch watervoerend pakket met een gemiddeld doorlaatvermogen van 3.000 m²/dag dat aan de onderzijde overgaat in een ondoorlatende basis.

Bodemgesteldheid:
De breedte van de strook hoge gronden (Gt VI en VII), middelhoge gronden (Gt IV en V) en lage gronden (Gt II en III) bedraagt respectievelijk 875, 1.000 en 875 m (zie afb. 4). De hoge gronden bestaan uit podzolgronden met Gt VI (40%) en beekeerdgronden met Gt VII (60%). De middelhoge gronden bestaan uit podzolgronden (75%) en beekeerdgronden (25%) beide met Gt V. De lage zandgronden worden overwegend in beslag genomen door beekeerdgronden met Gt III. De freatische bergingscoëfficiënt is op 0.15 gesteld.

Oppervlaktewater:
De gemiddelde afstand tussen de beken bedraagt 5.500 m. Op de hoge gronden is geen oppervlaktewaterstelsel aanwezig. Op de middelhoge gronden treedt alleen maar gedurende het winterhalfjaar drainage of infiltratie op (drainageweerstand: 420 dagen). Op de lage gronden treedt het gehele jaar infiltratie of drainage op. Gedurende het zomer- en winterhalfjaar bedraagt de drainageweerstand respectievelijk 700 en 240 dagen.



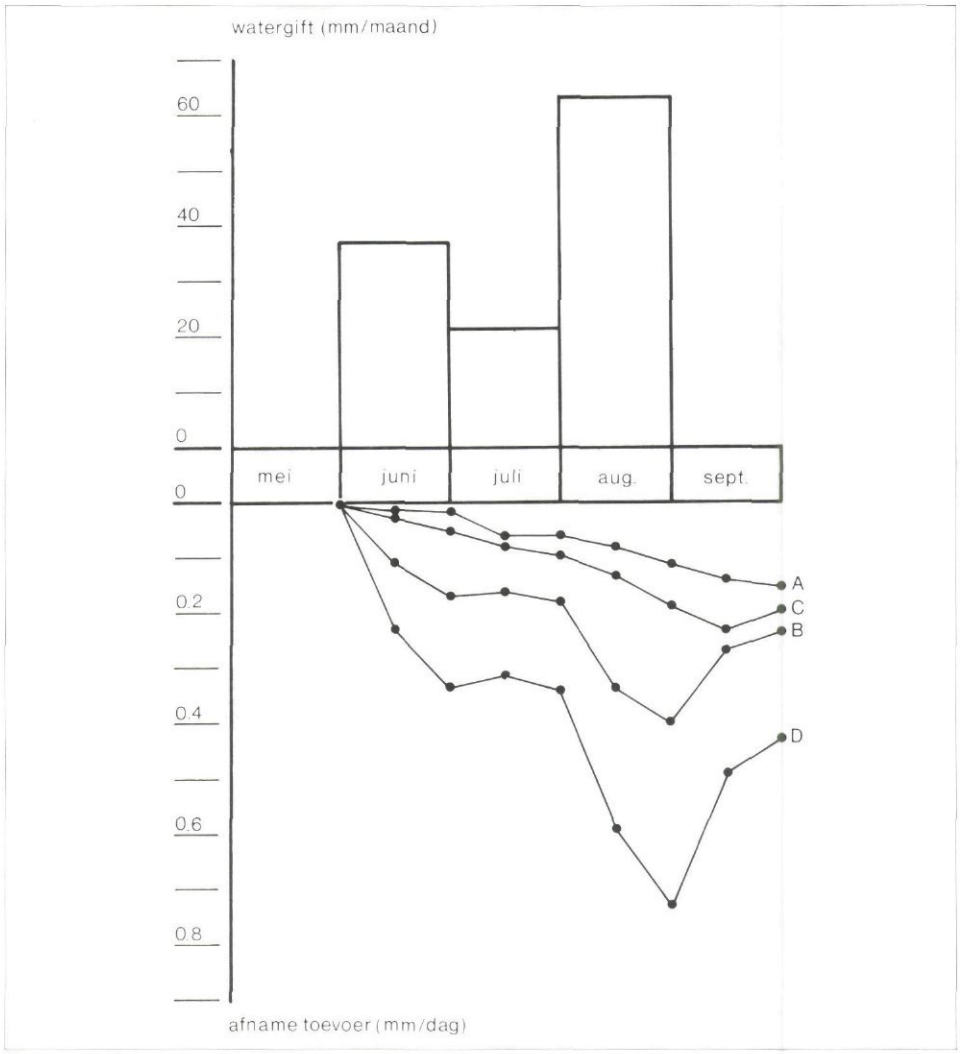
Afb. 5 - Het verloop van de grondwaterstandsverlaging op de hoge en lage gronden bij zeer intensieve beregening (scenario D).

droogtegraad in tabel III gegeven. De droogtegraad is hierbij gedefinieerd als de overschrijdingskans van het potentieel neerslagtekort (potentiële verdamping minus neerslag) voor het gehele zomerhalfjaar en is afgeleid uit cijfers van De Bruin [1979] en de Overzichten van de Weersgesteldheid (KNMI). De onttrekkingshoeveelheid is zodanig uitgerekend dat deze als een gemiddelde waarde mag worden beschouwd voor de gronden die mogen worden beregend. Zoals al eerder opgemerkt bestaan er tussen de zomerhalfjaren onderling grote verschillen in de droogtegraad en de daarmee samenhangende grootte van de watergift.
Met de berekende onttrekkingshoeveelheid, die per maand verschilt, is vervolgens het verloop van de verlaging van de grondwaterstand bepaald. Dit is gedaan voor het gebied (2.750 x 1.000 m²) dat in afb. 4 is afgebeeld en voor de periode 1971 t/m 1980, die daarvoor opgedeeld is in 365 tijdstappen elk met een lengte van 10 dagen. De berekeningen zijn voor elk beregeningsscenario (tabel II) eenmaal uitgevoerd. Met uitzondering van de drogere zomerhalfjaren zoals 1973, 1975 en 1976, heeft de afname van de verdamping op de niet-beregende gronden geen invloed op de grootte van de grondwaterstandsverlaging. Er behoeft derhalve in die jaren geen iteratieprocedure te worden uitgevoerd. De eerste schatting van de grondwaterstandsverlaging (afb. 2, stap 2) vormt in die gevallen direct het eindresultaat. In de drogere zomerhalfjaren moeten de berekeningen (afb. 2, stap 3 t/m 5) 1 à 2 maal herhaald worden om consistente resultaten te verkrijgen tussen de onverzadigde en verzadigde zone van de grond.
Van de berekende verlopen van de grondwaterstandsverlaging, die per punt voorhanden zijn, wordt in afb. 5 het verloop gepresenteerd voor een punt dat centraal ligt in de strook met de hoge gronden en voor een punt dat dezelfde ligging heeft in het gebied met de lage gronden. De verlopen gelden voor een beregeningsscenario waarbij 65% van de oppervlakte hoge en middelhoge cultuurgronden worden beregend uit het grondwater. Om een inzicht te geven in de grootte van de verlaging van de grondwaterstand voor de verschillende jaren en beregeningsscenario's wordt in tabel V de maximale verlaging gegeven zoals die binnen het groeiseizoen optreedt. De maximale verlaging die voor verschillende typen grond (hoog, middelhoog e.d.) wordt gegeven, geldt voor een punt centraal in de strook die deze gronden innemen. De maximale verlaging blijkt bij de hogere gronden eind augustus op te treden, terwijl bij de lagere gronden deze soms ook in september voorkomt. Uit afb. 5 kan men afleiden dat de verlaging ten gevolge van beregening uit het grondwater sterk fluctueert. Veelal zal aan het begin van het groeiseizoen (1 april) geen

TABEL V – *De berekende maximale verlaging van de grondwaterstand gedurende het groeiseizoen (in cm) voor punten centraal in de strook met hoge, middelhoge en lage gronden voor verschillende beregeningsscenario's.*

Gronden		Hoge gronden				Middelhoge gronden				Lage gronden			
Scenario (zie tabel II)		A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
Jaar	Gift												
1971	74	7	11	13	18	4	8	6	15	2	3	2	6
1972	0	1	2	2	4	1	2	1	3	0	1	1	1
1973	93	11	14	20	26	5	11	9	21	2	4	3	7
1974	58	6	9	9	16	4	7	6	12	1	3	2	5
1975	120	12	17	21	32	6	12	8	25	2	4	3	8
1976	265	23	31	35	65	12	23	16	51	3	8	6	17
1977	0	5	8	7	11	3	6	5	8	1	2	2	3
1978	26	3	5	6	8	2	4	3	7	1	1	1	2
1979	10	1	2	3	4	1	2	1	3	0	1	0	1
1980	19	3	4	5	7	1	3	2	6	0	1	1	2

of nauwelijks meer een verlaging aanwezig zijn ten gevolge van beregening in de voorafgaande jaren. In tabel VI wordt de verlaging van de grondwaterstand gegeven aan het begin van het groeiseizoen wanneer deze nog wel in enige mate aanwezig is (> 1 cm).
Uit de berekeningen blijkt dat er eerst sprake is van een merkbare afname van de verdamping op de niet-beregende gronden wanneer de droogtegraad 20% of minder is. Dit cijfer geldt voor de hoge en middelhoge gronden. Voor de lage gronden geldt dat een afname van de verdamping ten gevolge van grondwaterwinning voor beregening pas optreedt bij een droogtegraad van 10% of minder. Voor de droge zomerhalfjaren wordt voor de verschillende beregeningsscenario's en typen gronden de afname van de verdamping op de niet-beregende gronden gegeven in tabel VII. Met behulp van de afname van de verdamping kan men een indicatie verkrijgen van de reductie van de gewasproduktie in geldeenheden wanneer men een lineair verband aanneemt tussen de gewasproduktie en het waterverbruik van het gewas (verdamping) en men verder aanneemt dat de opbrengst van grasland ca. 5.000 gulden/ha bedraagt. Een afname van de verdamping met 1% (toename van het vochttekort met 4,5 à 5 mm) komt dan overeen met een afname van de grasproduktie met ca. 50 gulden/ha.
Behalve de verlaging van de grondwaterstand en de afname van de verdamping zijn met de rekenmethodiek ook nog andere veranderingen in waterbalansposten bepaald. Een van die posten vormt de afname van de toevoer van grondwater van de hoge en middelhoge gronden naar de lagere gronden langs de beek. De afname van de toevoer kan de kwaliteit van het freatisch grondwater beïnvloeden. Een wijziging kan tot lagere calcium-, magnesium- en ijzerconcentraties leiden. Hierdoor neemt bijvoorbeeld de fosfaatbufferende werking van het grondwater af waardoor zeldzame tot uiterst zeldzame plantensoorten en levensgemeenschappen in natuurterreinen verdwijnen [Reijnen e.a., 1981]. De afname van de grondwatertoevoer naar de lagere gronden is in afb. 6 gegeven voor de situatie zoals die in 1975 zou zijn opgetreden voor verschillende beregeningsscenario's.
Ter vergelijking: de gemiddelde toevoer van grondwater naar een sterk lemige fijnzandige beekeerdgrond (pZg23) met grondwatertrap III bedraagt ongeveer 0,4 mm/dag [Bouma, 1979].



Afb. 6 - Afname van de toevoer van grondwater naar de lage gronden voor de verschillende beregeningsscenario's (zie tabel II).

TABEL VI – *De berekende verlaging aan het begin van het groeiseizoen (in cm) voor punten centraal in de strook met hoge, middelhoge en lage gronden voor verschillende beregeningsscenario's.*

Gronden	Hoge gronden				Middelhoge gronden				Lage gronden			
Scenario / Jaar	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
1972	–	2	2	4	–	2	–	3	–	–	–	–
1974	2	3	3	5	–	2	2	4	–	–	–	–
1975	–	2	2	3	–	–	–	2	–	–	–	–
1976	2	4	4	6	2	3	2	4	–	–	–	2
1977	5	8	7	11	3	6	5	8	–	2	2	3

TABEL VII – *De berekende gemiddelde afname van de verdamping (%)* op de niet-beregende gronden voor de hoge, middelhoge en lage gronden voor verschillende beregeningsscenario's.*

Gronden		Hoge gronden				Middelhoge gronden				Lage gronden			
Scenario (zie tabel II)		A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
Jaar	Gift												
1973	93	0.3	0.4	0.5	0.6	0.8	1.5	1.4	2.6	0	0	0	0
1975	120	0.6	0.8	0.8	1.3	1.1	2.2	1.8	3.4	0.5	1.0	1.0	2.3
1976	265	1.6	1.9	2.1	3.4	2.2	3.2	2.6	5.0	1.2	2.6	1.7	5.5

* N.B. De afname van de grasopbrengst (gld./ha) ≃ afname van de verdamping x 50 (zie tekst).

4. Conclusies

Het model GELGAM is qua concept een beter model dan de in dit artikel toegepaste rekenmethodiek. De methodiek is echter wanneer rekening wordt gehouden met de benodigde inspanningen een redelijke tussenoplossing tussen het model GELGAM en de tot op heden veelvuldig gebruikte eenvoudige berekeningsmethoden. De in de rekenmethodiek gebruikte benadering van een loskoppeling van de verzadigde, onverzadigde grondwaterstroming en verdamping blijkt na een beperkt aantal iteraties tot consistente resultaten te leiden ten aanzien van de berekende grondwater-

standsverlaging en de afname van de verdamping.

Beregening uit het grondwater op de hogere gronden zal in Oost-Gelderland in gebieden met lagere gronden in vele gevallen tot grondwaterstandsverlagingen van minder dan 5 cm leiden (tabel V). Alleen wanneer zeer intensief wordt beregend uit het grondwater op zowel de hoge als middelhoge gronden (tabel II, scenario D) of bij minder intensieve beregening in extreem droge jaren (bijvoorbeeld 1976) zal de verlaging van de grondwaterstand in gebieden met lagere gronden meer dan 5 cm bedragen. De afname van de verdamping op de lagere gronden is in die gevallen dan ook niet meer verwaarloosbaar klein (> 2%). Dit impliceert dat de afname van de graslandopbrengst op de niet-beregende gronden meer dan 100 gulden per ha bedraagt.

De grondwaterstandsverlaging en de afname van de verdamping ten gevolge van beregening uit het grondwater is op de niet-beregende middelhoge gronden in Oost-Gelderland groter dan op de lagere gronden (tabel V en VII).

Ondanks de grote grondwaterstands-verlagingen op de hogere gronden (tabel V) zal beregening uit het grondwater daar slechts incidenteel (intensieve beregening en extreem droog jaar) tot merkbare schade aan grasopbrengst leiden (tabel VII).

De toename van het vochttekort op de niet-beregende gronden, die incidenteel met name op de middelhoge gronden merkbaar zal zijn, zal geen aanleiding zijn tot een zogenaamd sneeuwbaleffect ten aanzien van de uitbreiding van de beregening. De toename van het vochttekort (maximaal 25 mm) is namelijk relatief klein ten opzichte van de van nature optredende vochttekorten.

Beregening uit het grondwater zal in Oost-Gelderland, bij weersomstandigheden zoals die in de jaren zeventig zijn opgetreden, niet tot een permanente daling van de grondwaterstand leiden. Alleen na droge zomerhalfjaren zal in het daaropvolgende zomerhalfjaar nog sprake zijn van een niet te verwaarlozen verlaging. Dit is dus een duidelijk verschil met de grondwater-onttrekking door waterleidingbedrijven, waarbij de onttrekking leidt tot een permanente daling van de grondwaterstand.

Grondwaterwinning op de hogere gronden zal vooral in drogere jaren leiden tot een tijdelijke afname van de grondwatertoevoer naar de lagere gronden (afb. 6). In hoeverre dit de grondwaterkwaliteit beïnvloedt (die van levensbelang is voor sommige zeldzame plantengemeenschappen in natuurterreinen), moet uit aanvullende hydrologische en geohydrochemische berekeningen worden afgeleid.

Dankbetuiging

Dank is verschuldigd aan mijn collega's G. J. Heij, C. R. Meinardi en H. L. M. Rolf voor het kritisch doornemen van het manuscript en de bijdrage aan de ideevorming ten aanzien van de schematisering van het gebied.

Literatuur

Abrahamse, A. H., Baarse, G. and Beek, E. van. *Policy analysis of Water Management for the Netherlands. Vol XII; Model for regional hydrology, agriculture water demands and damages from drought and salinity*, a rand note. Rand corporation and Delft Hydraulics Laboratory, 1982.

Awater, R. H. C. M. and Laat, P. J. M. de. *Groundwater-flow and evapotranspiration. A simulation model, Part 2. Applications.* Basisrapport Commissie Bestudering Waterhuishouding Gelderland, 1980.

Belmans, C., Wesseling, J. G. and Feddes, R. A. *Simulation model of the water balance of a cropped soil: SWATRE.* Journal of Hydrology, 1983.

Boheemen, P. J. M. van en Wilde, J. G. S. de. *Water-voorziening land- en tuinbouw in het droge jaar 1976.* Regionale studies 15, Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, 1979.

Bouma, J. (editor). *Overzichtskaarten met betrekking tot een aantal aspecten van de waterhuishouding in Gelderland.* Rapport 'Bezinningsgroep' van Commissie Bestudering Waterhuishouding Gelderland, 1979.

Bruin, H. A. R. de. *Neerslag, open-waterverdamping en potentieel neerslagoverschot in Nederland; frequentie-verdelingen in het groeiseizoen.* Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut WR 79-4, 1979.

Drecht, G. van (1982). *Model voor het niet-stationaire transport van water en een opgeloste stof in een kolom grond (model ONZAT).* RID-mededeling (in voor-bereiding).

Ernst, L. F. en Feddes, R. A. *Invloed van grondwater-onttrekking voor beregening en drinkwater op de grondwaterstand.* Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, nota 1116, 1979.

Giessen, A. van der. *Grondwaterstandsverlagingen ten gevolge van onttrekkingen voor kunstmatige beregening en drinkwatervoorziening.* Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, nota 1183, 1980.

Laat, P. J. M. de. *Model for unsaturated flow above a shallow water-table applied to a regional sub-surface flow problem.* Pudoc, Agricultural Research Reports 895, 1980.

Laat, P. J. M. de. *MUST, A simulated model for unsaturated flow.* Report International Institute for Hydraulic and Environmental Engineering, 1982.

Lanen, H. A. J. van. *Grondwater als bron voor de openbare watervoorziening en voor beregening in de landbouw.* H_2O (14) 1982, pag. 363-367.

Lanen, H. A. J. van. *Beregening uit het grondwater op hogere gronden en het effect daarvan op de lagere gronden.* Interne RID-nota, 1982.

Lanen, H. A. J. van (1983). *Aanvullend onderzoek met het model GELGAM in het studiegebied Sleen (Drenthe). Deel III: Hydrologische effecten van intensieve beregening uit het grondwater en het eerder of later opzetten van stuwen.* RID-rapport (in voorbereiding).

Reijnen, M. J. S. M., Vreugdenhil, A. en Beije, H. M. *Vegetatie en grondwaterwinning in het gebied ten zuiden van Breda.* Rijksinstituut voor Natuurbeheer, rapport 81/24, 1981.

Studiecommissie Waterbehoefte Land- en Tuinbouw (SWLT). *Aanvullende watervoorziening land- en tuinbouw*, 1980.

Velde, G. van de en Overmars, B. *De voor een praktijk-geval berekende verlaging van de grondwaterstand ten gevolge van grondwateronttrekkingen voor beregening en drinkwatervoorziening.* H_2O (15) 1982, pag. 436-439.

● ● ●

Van afvalstoffen naar grondstoffen

● *Slot van pagina 368*

Het opbrengen van een nieuwe precoat-laag neemt tussen 1 en 1,5 uur in beslag, waardoor het filter niet continu bedreven kan worden. De laboratoriumproeven met dit proces gaven uitstekende resultaten. Bij een detectiegrens van 10 μg/l waren in het gefiltreerde water PAK niet aantoonbaar. Na deze op laboratoriumschaal uitgevoerde proeven is een proefinstallatie opgesteld om direct op het influent van de biologische zuiveringsinstallatie filtratieproeven uit te voeren. Daarbij is getracht voor de uiteindelijke filterinstallatie de condities vast te stellen die tot een optimaal filteroppervlak leiden.

Parameter zijn:

- de indompeldiepte van de ronddraaiende filtertrommel;
- de grootte van het vacuüm;
- de korrelgrootte van het houtmeel;
- de draaisnelheid van de trommel;
- de dikte van de afgeschraapte laag filter-hulpmiddel.

Conclusie

Het onderzoek naar de verwijdering van PAK heeft dermate goede resultaten opgeleverd (zie tabel V), dat besloten is tot de bouw van een installatie waarmee het afvalwater van de cokesfabrieken kan worden gefiltreerd. Een verwijderingsrendement van meer dan 90% van de PAK kan hiermee worden bereikt. De installatie bestaat uit twee parallel opgestelde filters met elk een filteroppervlak van 36 m². De hoeveelheid te behandelen afvalwater zal circa 120 m³/h bedragen. De benodigde investering voor de filters is begroot op 1,7 miljoen gulden; inclusief bouwkundige en elektrotechnische voorzieningen moet ongeveer 3,1 miljoen gulden worden geïnvesteerd.

Dankwoord

Bij het samenstellen van deze voordracht is gebruik gemaakt van de resultaten van onderzoekwerk van een aantal medewerkers van de Afdeling Milieubeheer van Hoogovens IJmuiden.

Daarvoor en voor het kritisch doornemen van de tekst dank ik de heren W. Kat en C. P. Heijwegen, die het onderzoek naar de verwerking van hoogovengasstof hebben geleid, de heren B. de Mon en A. I. van Hoorn, die het onderzoek hebben uitgevoerd naar de verwijdering van polycyclische aromatische koolwaterstoffen en de heer E. J. Stuart die betrokken is geweest bij het ontwerp van de waterreinigingsinstallatie voor het gaswaswater van de hoogovens.

● ● ●