

De voor een praktijkgeval berekende verlaging van de grondwaterstand tengevolge van grondwateronttrekkingen voor beregening en drinkwatervoorziening

1. Inleiding

Waterleidingbedrijven die grondwater onttrekken veroorzaken in hun omgeving grondwaterstandsverlagingen waardoor de opbrengst van landbouwgewassen kan worden beïnvloed. Afhankelijk van onder andere grondsoort, oorspronkelijke grondwaterstand en meteorologische omstandigheden kan deze verlaging een opbrengstverhoging danwel een opbrengstvermindering tot gevolg hebben. Door middel van schaderegelingen tussen landbouwer en waterleidingbedrijf wordt de eventuele



G. v. d. VELDE
KIWA NV



B. OVERMARS
Landbouw Hogeschool
Wageningen

netto opbrengstderving door het waterleidingbedrijf vergoed.

Een moeilijkheid bij deze schaderegelingen is dat er naast drinkwaterwinningen onder andere grondwaterwinningen ten behoeve van industrie en landbouw plaatsvinden. Bovendien kan de grondwaterstand veranderen door cultuurtechnische maatregelen, zoals bijvoorbeeld ruilverkavelingen. De jaarlijks onttrokken hoeveelheden grondwater ten behoeve van de drinkwatervoorziening en de industrie zijn bekend, in tegenstelling tot grondwaterwinningen ten behoeve van de landbouw. De mede hierdoor veroorzaakte grondwaterstands dalingen zijn dan ook veelal niet of zeer moeilijk te kwantificeren.

Van Boheemen [1979] heeft onder andere voor het extreem droge jaar 1976 een schatting gemaakt van de omvang van de beregening uit het grondwater. Voor het Zuidelijk en Oostelijk Zandgebied (indeling volgens het Landbouw Economisch Instituut), waar het water relatief schaars is, kan op grond van de gegevens van Van Boheemen de beregeningsomvang worden bepaald (tabel I). In dezelfde tabel is de onttrokken hoeveelheid drinkwater tijdens de beregeningsperiode en gedurende het gehele jaar 1976 vermeld.

Het blijkt dat tijdens de beschouwde periode de onttrekking ten behoeve van beregening een factor 2 à 3 groter is geweest dan die ten behoeve van de drinkwatervoorziening. Over het gehele jaar genomen

TABEL I - Overzicht van het gebruik van grondwater voor de land- en tuinbouw en de drinkwatervoorziening in 1976 (uitgedrukt in 10^6 m^3).

Landbouw- gebied ¹	Oppervlakte in 100 ha	Beregening in 1976 excl. glastuinbouw ²	Drinkwater- winning tijdens 120 dagen van het groei seizoen ³	Drinkwater- winning in 1976 ³
Oostelijk zandgebied	2044	65,9	28,7	77,7
Zuidelijk zandgebied	3011	179,6	74,9	203,3

¹ Gebiedsindeling volgens de indeling van het Landbouw Economisch Instituut, 1979

² Beregeningsomvang op basis van gegevens van Van Boheemen, 1979

³ Gewonnen hoeveelheid drinkwater op basis van gegevens van de VEWIN [Overmars, Van der Velde, 1981]

TABEL II - Prognoses behoefte grondwater ten behoeve van beregening en drinkwatervoorziening in 10^6 m^3 in 1990.¹

Landbouw- gebied	Prognose grondwateronttrekkingen t.b.v. beregening ²						Prognose drink- waterwinning tijdens 120 dagen van het groei seizoen	Prognose drinkwater- winning ³
	5 % droogjaar min. tussen max.			10 % droogjaar min. tussen max.				
Oostelijk zandgebied	19	52	86	33	92	150	34	91
Zuidelijk zandgebied	76	143	208	111	207	303	86	232

¹ Uit de tekst van het rapport van de Studiecommissie blijkt dat de prognoses voor het jaar 1990 zijn opgesteld.

² De verhouding oppervlakte-, grondwaterwinningen is overeenkomstig 1976 (verdelingsszenario A).

³ Op grond van gegevens van de VEWIN.

is de drinkwaterwinning weliswaar groter ($\pm 15 \%$), doch ligt in dezelfde orde van grootte.

Het jaar 1976 is een extreem droog jaar geweest en derhalve niet maatgevend. Gezien de ontwikkelingen in de landbouw mag echter worden verwacht dat de vraag naar grondwater vanuit de landbouw verder zal toenemen. Deze ontwikkeling wordt eveneens door de Studiecommissie Waterbehoefte voor de Land- en Tuinbouw (SWLT) voorzien.

Dit blijkt uit haar rapport waarin, vanwege de moeilijkheid de waterbehoefte van de land- en tuinbouw te voorspellen, drie scenario's worden beschreven die een schatting geven van het toekomstig grondwaterverbruik. In tabel II zijn deze scenario's voor twee droogteklassejaren weer gegeven. Eveneens is vermeld de prognose van de drinkwaterbehoefte die met grondwater moet worden gedekt.

Uit tabel II blijkt, dat de prognoses voor de landbouw sterk uiteenlopen. Indien wordt uitgegaan van het tussenszenario, dan is de landbouwbehoefte in een 10 % droogteklassejaar ruwweg de helft van de drinkwaterbehoefte. In een 5 % droogjaar komt deze behoefte ongeveer overeen met die aan het drinkwater.

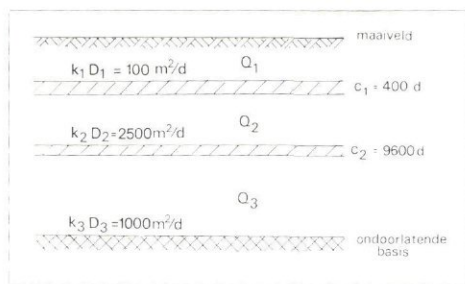
Recentelijk is een aantal studies verricht waarbij de grondwaterstands dalingen ten gevolge van beregening zijn aangegeven [Ernst, Feddes, 1979; Van der Giessen, 1980; Van Lanen, 1981]. Uit deze studies blijkt dat de manier van winning invloed heeft op het hydrologisch effect van die winningen.

Grondwaterwinning voor beregening zal meestal op zo gering mogelijke diepte plaatsvinden. De kosten van een put zullen dan immers minimaal zijn. Een waterleidingbedrijf zal er onder andere uit overwegingen van bescherming van de grondwaterkwaliteit de voorkeur aan geven om op grote diepte te winnen, indien mogelijk onder min of meer afsluitende lagen. De effecten van deze beide typen winningen op de freatische grondwaterstanden zullen alleen al om de hier genoemde reden sterk kunnen verschillen. Om nader te onderzoeken of mede hierdoor belangrijke verschillen zijn te constateren in de gevolgen van beide typen grondwaterwinning, is een aantal berekeningen uitgevoerd.

Achtereenvolgens wordt geschetst de analytische achtergrond van het rekenmodel waarmee de grondwaterstandsverlagingen zijn berekend, de wijze waarop het rekenmodel is toegepast, de gebruikte invoergegevens, en tenslotte de berekeningsresultaten met een aantal conclusies en aanbevelingen.

2. Werkwijze

Als modelgebied is gekozen een gebied in de provincie Noord-Brabant. Dit gebied is onder andere gekozen omdat het daar aanwezige pompstation onder een dikke kleilaag water oppompt en er in het modelgebied veel met grondwater wordt beregend. De grootte van het modelgebied bedraagt 2500 ha. Zowel ten zuiden, ten westen als ten noorden van het modelgebied bevinden zich, hydrologisch gezien, belangrijke waterlopen die als voedende



Afb. 1 - Het geschematiseerde bodemprofiel. Q_1 : winning in het freatisch gedeelte van het profiel

Q_2 : winning in de eerste watervoerende laag

Q_3 : winning in de tweede watervoerende laag

c_1 , c_2 : weerstand van slechtdoorlatende laag

$K_1 D_1$, $K_2 D_2$, $K_3 D_3$: doorlatendheid van de watervoerende laag

grens voor het freatische grondwater worden beschouwd. Het modelgebied vormt een deel van het totale beïnvloede gebied. Het beïnvloede gebied wordt begrensd door de waterlopen.

In het geohydrologisch profiel kunnen drie watervoerende lagen worden onderscheiden, waarvan de bovenste laag freatisch water bevat (afb. 1). De via pompproeven vastgestelde bodemconstanten zijn eveneens in afb. 1 vermeld.

Het pompstation onttrekt grondwater aan het derde watervoerende pakket. De landbouwers onttrekken hoogst waarschijnlijk zowel uit het freatische pakket als uit de tweede watervoerende laag.

Uitgaande van een stationaire stroming kan de hier geschetste situatie tot een stationaire simultane stroming in 3 pakketten worden geschematiseerd. Een oplossing kan gevonden worden door het superponeren van de uitkomsten van een tweetal stromingsproblemen, te weten:

- onttrekkingen uit het freatisch pakket en de tweede watervoerende laag (berekening);
- onttrekkingen uit de derde watervoerende laag (drinkwaterwinning).

Ingeval grondwater uit het freatisch deel en de tweede watervoerende laag wordt onttrokken, is de situatie verder zodanig geschematiseerd alsof aan de rand van het beïnvloede gebied een infiltratiekanaal de eerste slecht doorlatende laag doorsnijdt. Deze veronderstelling geldt indien de straal van het beïnvloedingsgebied dermate groot is, dat door percolatie uit het freatische pakket de verlaging aan de rand van beide watervoerende lagen verwaarloosbaar klein is. De afstand waarop deze aanname van toepassing is bedraagt bij benadering 2 à 3 keer de spreidingslengte ($\lambda = \sqrt{kDc}$), waarbij in dit geval $\lambda = 1000$ m bedraagt. De genoemde waterlopen zijn infiltrerend voor het modelgebied. Deze waterlopen liggen buiten het modelgebied op een afstand (R) van ca. 5200 m vanaf het centrum. In dit

geval wordt dus ruimschoots aan de aanname van volledige doorsnijding voldaan. Vervolgens is aangenomen dat de tweede semipermeabele laag dermate slecht doorlatend is dat de stijghoogteverandering in het tweede watervoerende pakket niet merkbaar wordt beïnvloed door voeding uit het derde watervoerende pakket. Het nivellerend effect op de stijghoogteverandering in het tweede watervoerende pakket door voeding uit het derde kan benaderd worden door de verhouding van de weerstanden van de slechtdoorlatende lagen, c_1/c_2 . Dit is $400/9600 = 0,04$ en ondersteunt de eerder genoemde aanname. Na introductie van bovengenoemde schematiseringen kan volgens Olsthoorn en Den Blanken [1977] de verlaging van het freatisch vlak berekend worden ten gevolge van onttrekkingen in het freatisch gedeelte van het profiel en de tweede watervoerende laag.

Voor de onttrekking uit het derde watervoerende pakket kan met behulp van de formules van Huisman en Kemperman [Huisman, 1972] een oplossing worden gevonden. Om vervolgens de verlaging van de grondwaterspiegel te berekenen moet de drainageweerstand (Cw) bekend zijn. Hiervoor is een waarde van 980 dagen genomen.

Ernst [1971] heeft een verband gelegd tussen de stijghoogte in het tweede watervoerende pakket en de hoogte van de grondwaterspiegel. Via deze relatie kan de stijghoogteverandering in het tweede watervoerende pakket worden omgerekend in een verandering van de grondwaterspiegel. Vervolgens kan via superpositie de uiteindelijke verlaging van het freatisch vlak ten gevolge van alle winningen worden berekend. Hierbij kunnen twee gevallen worden onderscheiden, namelijk:

- superpositie van de effecten van de verschillende winputten in één laag;
- superpositie van de effecten in de verschillende lagen in een bepaald punt van het modelgebied.

In formulevorm:

$$h_i = \sum_p h_1 + \sum_q h_2 + \sum_r h_3$$

h = verandering van de grondwaterstand
 h_1 = verandering van het freatisch vlak in het knooppunt i

h_1 = h in het knooppunt i ten gevolge van alle putten (p) in het freatisch gedeelte.

h_2 = h in het knooppunt i ten gevolge van alle putten (q) in de tweede watervoerende laag

h_3 = h in het knooppunt i ten gevolge van alle putten (r) in de derde watervoerende laag.

Voor winningen in het freatisch gedeelte

kan nog opgemerkt worden dat de verlaging h_1 gering is ten opzichte van de dikte van deze laag. Op grond hiervan is aangenomen dat $k_1 D_1$ constant is zodat de verlagingen in het freatisch gedeelte van het profiel rechtstreeks kunnen worden gesommeerd.

3. Rekenmodel

Met de eerder genoemde formules van Olsthoorn – Den Blanken en Huisman – Kemperman is een computermodel ontwikkeld. Het model bevat 217 knooppunten die automatisch geregenereerd worden en als een netwerk, opgebouwd uit driehoeken, over het gebied liggen. De netwerkgeneratie wordt zodanig uitgevoerd dat elke put ter plaatse van een knooppunt is gesitueerd. Het model interpoleert de grondwaterstanden lineair tussen de knooppunten.

Hierdoor ontstaan vanwege het trechtervormig verloop van de grondwaterspiegel vooral nabij de putten afwijkingen. Ter ondervanging van dit probleem zijn correcties uitgevoerd.

4. Onttrekkingsgegevens

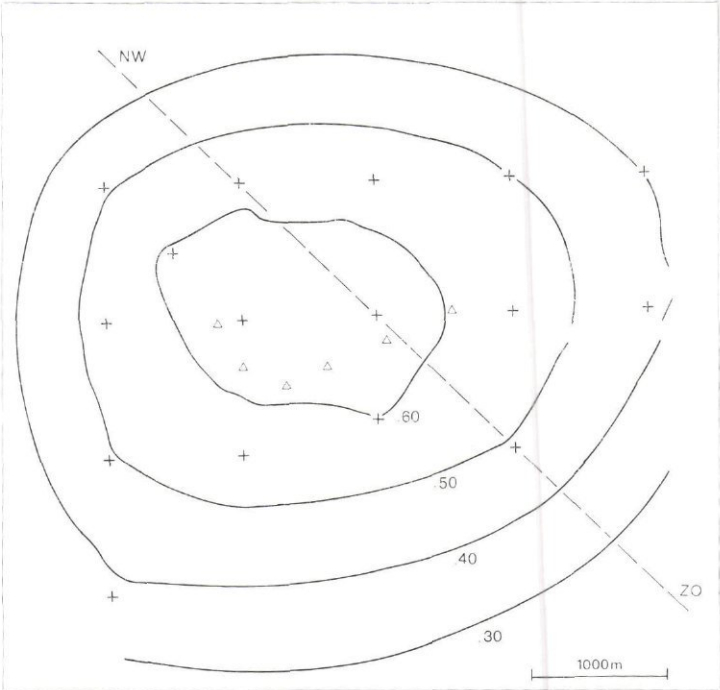
Bij de berekening is getracht zoveel mogelijk uit te gaan van de praktijksituatie zoals die zich in het jaar 1976 heeft voorgedaan. Aangenomen is dat de beregeningsgegevens van het modelgebied overeenkomen met die van de gemeente waarin het modelgebied ligt. Op grond van het onderzoek naar berekening in de landbouw in 1976 [Van Boheemen, 1979] is voor het modelgebied aangenomen dat de hoeveelheid grondwater in het groeiseizoen aan de bodem onttrokken, omgeslagen over de 2500 ha van het gebied, 37,5 mm bedraagt. Het percentage beregend oppervlak is 10 %.

In het modelgebied komt 1600 ha landbouwgrond voor, zodat het beregende oppervlak 160 ha is. Verondersteld wordt, dat per 10 ha één beregeningsput voorkomt, waardoor het aantal beregeningsputten 16 bedraagt. Voor een beregeningsperiode van 120 dagen kan vervolgens de stationaire onttrekking per put bepaald worden. Een beregeningsput levert aldus een volumestroom van circa 500 m³/dag. Zowel de lokatie als de diepte van de beregeningsputten is onbekend. Aangezien de filters van de putten hoogstwaarschijnlijk zowel in het freatisch gedeelte van het profiel als in de tweede watervoerende laag zijn gesteld, is voor beide situaties de verlaging van het freatisch vlak berekend. Ten aanzien van de lokatie is getracht de putten regelmatig verspreid over de cultuurgrond te situeren.

De onttrekkingen ten behoeve van de drinkwatervoorziening zijn geschematiseerd



Afb. 2 - Situatie 1976. Berekening uit het freatisch gedeelte van het profiel.
 $Q_b = 7810 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$
+ put voor berekening
 Δ drinkwaterwinput
. 30 isolijn van 30 cm verlaging



Afb. 3 - Situatie 1976. Berekening uit de tweede watervoerende laag.
 $Q_b = 7810 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$
 Δ drinkwaterwinput
+ put voor berekening
. 30 isolijn van 30 cm verlaging

tot een onttrekking aan 6 putten met een volumestroom van elk $133.000 \text{ m}^3/\text{d}$.

5. Berekeningsresultaten voor 1976

In afb. 2 t/m 4 zijn de isolijnenpatronen van de verlaging van het freatisch vlak voor de onderscheiden situaties weergegeven. De afbeeldingen hebben op de volgende situaties betrekking:

- grondwateronttrekking voor berekening uit het freatisch pakket (afb. 2);
- idem uit de tweede watervoerende laag (afb. 3);
- drinkwaterwinning uit de derde watervoerende laag (afb. 4).

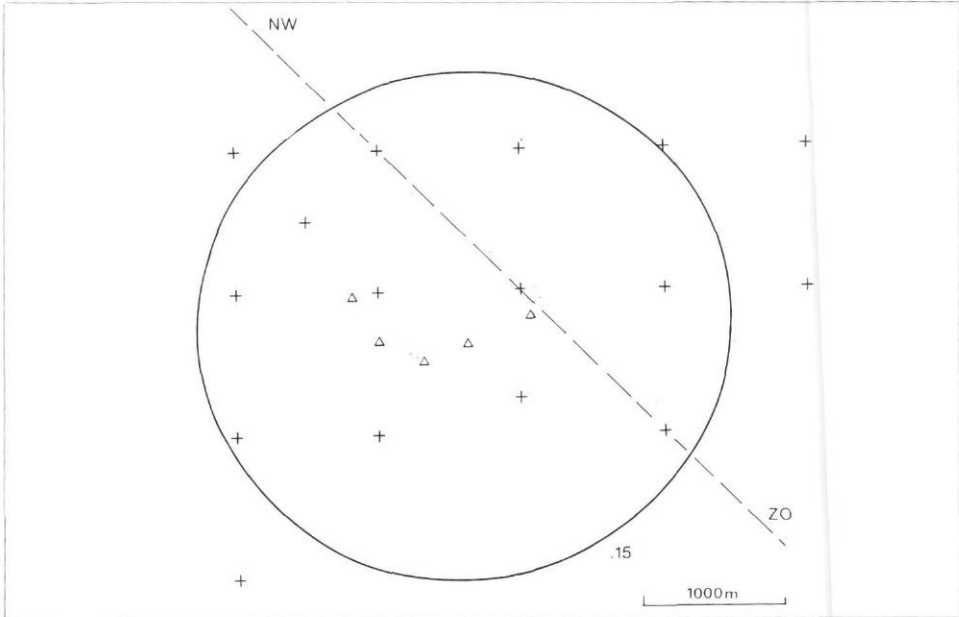
Indien bij berekening al het water uit het freatisch gedeelte van het profiel wordt gepompt, daalt de grondwaterspiegel in het centrum van het modelgebied 70 à 135 cm. Aan de randen is de verlaging 25 cm of meer (afb. 2). Bij de berekeningsputten treden duidelijke trechtervormige verlagingen op. Dit in tegenstelling tot onttrekkingen uit beide onderliggende watervoerende lagen.

Het verlagingsspatroon behorend bij berekening uit het tweede watervoerende pakket is gelijkmatig. De verlaging in het centrum is 65 cm en loopt geleidelijk terug tot 35 à 25 cm aan de randen (afb. 3). Ten opzichte van de invloed van berekening uit het freatische pakket zal de winning uit het tweede watervoerende pakket een grotere

invloed buiten het modelgebied hebben.

Overeenkomstig de verwachting geeft de drinkwaterwinning uit het derde watervoerende pakket een nog gelijkmatiger verlagingsspatroon (afb. 4). De verlaging in het centrum bedraagt rond de 20 cm, terwijl nabij de rand de verlaging rond de 10 cm zal liggen.

Afb. 4 - Situatie 1976. Drinkwaterwinning.
 $Q_b = 29490 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$
. 15 isolijn van 15 cm verlaging



6. Toekomstverwachting

Voor het verkrijgen van een inzicht in de toekomstige grondwaterstandsdalingen, is een schatting gemaakt van de hoeveelheid benodigd grondwater in 1990. Voor de drinkwatervoorziening is het jaar 1976 een piekjaar geweest. Verder is voor het pompstation geen uitbreiding voorzien.

Δ drinkwaterwinput
+ put voor berekening

Dit maakt het aannemelijk dat voor 1990 met dezelfde hoeveelheid opgepompt grondwater gerekend kan worden als in 1976.

De vraag naar grondwater ten behoeve van beregening is bepaald door een schatting te maken van het te beregenen oppervlak en de beregeningsgift. Het percentage beregend oppervlak is op 50 % gesteld. Deze aanname wordt ondersteund door het tussenscenario, genoemd in het SWLT-rapport (1980). Voor de beregeningsgift zijn twee droogteklasse-jaren onderscheiden waarvoor de volgende beregeningsgiften zijn aangenomen [Van der Giessen, 1980]:

- 10 % droog jaar; 210 mm per groei-seizoen;
- 50 % droog jaar; 70 mm per groei-seizoen.

Het aantal putten waaruit beregend gaat worden, is op 32 gesteld waarbij wordt verondersteld dat bij 16 putten freatisch water wordt gewonnen en het overige grondwater uit de tweede watervoerende laag wordt gepompt. De beregeningsduur wordt wederom op 120 dagen gesteld.

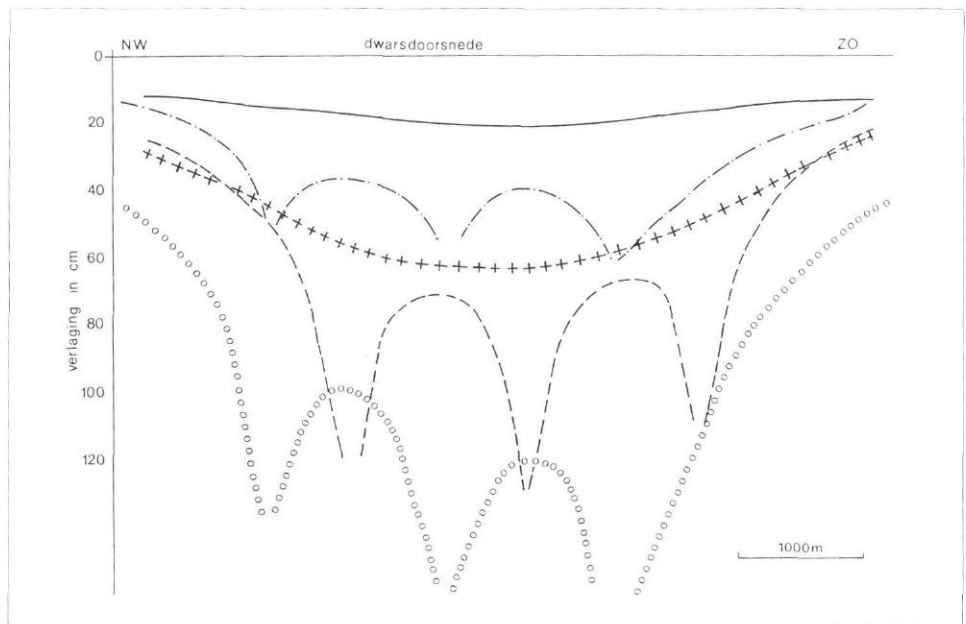
7. Berekeningsresultaten op grond van de toekomstverwachting

De verlagingen van het grondwater ten gevolge van onttrekkingen voor beregening in een 50 % droog jaar variëren in het centrum van het modelgebied tussen de 50 en 80 cm. Aan de randen bedraagt de verlaging 20 cm of meer. De verlagingen in een 10 % droog jaar zijn beduidend groter en variëren in het centrum tussen de 160 en 180 cm. Aan de randen bedraagt de verlaging 50 cm of meer. Ter vergelijking van de invloed op de grondwaterstandsverlaging in de onderscheiden gevallen is in afb. 5 een dwarsprofiel van het modelgebied weergegeven. Hoewel deze doorsnede één van vele mogelijke doorsneden is, geeft het een samenvattend beeld van de freatische verlagingen van de onderscheiden gevallen te weten:

- drinkwaterwinning in 1976 en 1990 —
- winning ten behoeve van beregening in:
 - a. 1976 – freatische winning —
 - winning uit het tweede watervoerende pakket +++
 - b. 1990 – 50 % droog jaar – . – . –
 - 10 % droog jaar oooo.

8. Conclusies en aanbevelingen

In het algemeen wordt grondwater voor beregening uit het freatisch gedeelte van het profiel onttrokken terwijl de putfilters van waterleidingbedrijven in het algemeen



Afb. 5 - Verlaging van het freatisch vlak van het modelgebied.

— drinkwater in 1976 en 1990
 beregening:
 --- freatisch in 1976

+++ eerste watervoerend pakket in 1976
 -.- 50% droog jaar 1990
 oooo 10% droog jaar 1990

onder slecht doorlatende klei- en lemlagen zijn gesteld. Veelal wordt aangenomen dat de winningen ten behoeve van beregening een diffuus verlagingbeeld tot gevolg hebben [Ernst en Feddes, 1979]. Uit deze berekening blijkt dat hier niet a priori vanuit kan worden gegaan, doch dat het geohydrologische profiel en de laag waaruit gepompt wordt grote invloed op de hydrologische gevolgen van de winnig hebben. In geval van trechtervormige verlagingen die zich vooral bij winningen uit het freatisch pakket manifesteren, zullen met name de aangrenzende percelen droogtegevoeliger worden. De betreffende boeren zullen daardoor eerder geneigd zijn tot aanschaf van een beregeningsinstallatie.

Bij het vaststellen van de landbouwschade worden veelal verlagingbeelden geschetst op grond van de gekarteerde hydromorfe kenmerken en de gemeten grondwaterstanden. Het aldus verkregen verlagingbeeld is de resultante van een scala van invloeden. Uit deze studie blijkt dat de verlaging van het freatisch vlak door beregening aanzienlijk kan zijn.

Ingeval de beregeningsomvang zich volgens de verwachtingen ontwikkelt, kunnen de onttrekkingen ten behoeve van beregening een ernstige aanslag op de winbare hoeveelheid grondwater vormen.

Dit pleit ervoor dat, evenals bij de drink- en industriewaterwinningen, de plaats, diepte, volumestroom en tijdstip van de winningen ten behoeve van beregening geregistreerd worden en de onttrekkingen voor beregening aan een vergunningstelsel worden gebonden.

Hoewel in deze studie belangrijke vereenvoudigingen zijn ingevoerd blijkt uit de berekeningen dat er alle aanleiding toe bestaat de gevolgen van de onttrekkingen ten behoeve van beregening in de praktijk nader te bestuderen. De aanbeveling van de Studiecommissie Waterbehoefte Land- en Tuinbouw (1980) om zo mogelijk op praktisch schaal onderzoek te verrichten verdient derhalve ondersteuning.

Literatuuroverzicht

- Ernst, L. F. en Feddes, R. A. *Invloed van grondwateronttrekking voor beregening en drinkwater op de grondwaterstand*. ICW nota 1116, 1979.
- Giessen, A. van der. *Grondwaterstandsverlaging ten gevolge van onttrekking voor kunstmatige beregening en de drinkwatervoorziening*. ICW-nota 1183, 1980.
- Boheemen, P. J. M. van en Wilde, J. G. S. de. *Watervoorziening Land- en Tuinbouw in het droge jaar 1976*. ICW, regionale studies 15, 1979.
- Huisman, L. *Groundwater Recovery*. MacMillan, London, 1972.
- Landbouw Economisch Instituut/Centraal Bureau voor de Statistiek. *Landbouwcijfers*, 1979.
- Rijtema, P. E. *Een berekeningsmethode voor de benadeling van de landbouw ten gevolge van grondwateronttrekking*. ICW nota 587, 1971.
- Olsthoorn, T. N. en Den Blanken, M. G. M. *Verlaging bij simultane onttrekking van water uit twee pakketten, gescheiden door een slecht doorlatende laag*. KIWA, interne publicatie, 1977.
- Overmars, B. en Velde, G. van der. *Grondwateronttrekking voor beregening en drinkwatervoorziening en de verandering in de grondwaterstand*. KIWA, SWI-306, 1981.
- Studiecommissie Waterbehoefte Land- en Tuinbouw. *Aanvullende Watervoorziening van de Land- en Tuinbouw*. Den Haag/Utrecht, december 1980.
- VEWIN. *Waterleidingstatistiek 1976 deel I*, 1977.