

NOTA 1333

februari 1982

Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding
Wageningen

ALTERRA
Wageningen Universiteit & Research centre
Omgevingswetenschappen
Centrum Water & Klimaat
Team Integraal Waterbeheer

GRONDWATERSTANDSVERLAGING DOOR GRONDWATERONTTREKKING

IN HET ESPELOSE BROEK,

AFGELEID UIT GRONDWATERSTANDSWAARNEMINGEN

ing. G.W. Bloemen

Nota's van het Instituut zijn in principe interne communicatiemiddelen, dus geen officiële publikaties. Hun inhoud varieert sterk en kan zowel betrekking hebben op een eenvoudige weergave van cijferreeksen, als op een concluderende discussie van onderzoeksresultaten. In de meeste gevallen zullen de conclusies echter van voorlopige aard zijn omdat het onderzoek nog niet is afgesloten. Bepaalde nota's komen niet voor verspreiding buiten het Instituut in aanmerking

I N H O U D

	blz.
1. INLEIDING	1
2. DE REGRESSIE-ANALYSE	2
3. INTRODUCTIE VAN HET BEGRIP 'SCHIJNBARE VERLAGING'	3
4. DE KEUS VAN DE REFERENTIEBUIS	6
5. DE BEST MOGELIJKE SCHATTING VAN DE SCHIJNBARE VERLAGING	7
6. SAMENHANG TUSSEN DE SCHIJNBARE VERLAGING EN DE AFSTAND TOT DE ONTTREKKING	8
7. DE INVLOED VAN DE HEUVELRUG	11
8. DE WERKELIJKE VERLAGING VAN HET ONDIEPE GRONDWATER	12
9. EEN VERLAGINGSPATROON	14
10. NABESCHOUWING	15
LITERATUUR	16
BIJLAGE	17

ALTERRA
Wageningen Universiteit & Research centre
Omgevingswetenschappen
Centrum Water & Klimaat
Team Integraal Waterbeheer

1. INLEIDING

Op 26 januari 1978 werd op een vergadering van de zogenaamde Bestuurlijk-economische werkgroep Espelose Broek een Technische Werkgroep Espelose Broek ingesteld. Deze kreeg de taak de technische randvoorwaarden nader te preciseren en te toetsen, waarbinnen de waterwinning in het Espelose Broek mag plaats hebben. Dit ten behoeve van een tussen de Waterleidingmaatschappij Overijssel en het Waterschap Salland te sluiten overeenkomst, die betrekking zou hebben op verwezenlijking en zo mogelijk optimalisering van de regeling van de grondwaterstand in het Espelose Broek door middel van grondwateronttrekking ten behoeve van de drinkwatervoorziening.

Het was duidelijk dat de Technische Werkgroep het als een van de belangrijkste aspecten van haar taak zag vast te stellen welke invloed de grondwateronttrekking in het gebied op de grondwaterstanden heeft. Daarom werd onder andere intensieve meting van grondwaterstanden noodzakelijk geacht. Er werd een meetpuntennet opgesteld waarin bestaande meetpunten, die al langer werden gemeten, werden opgenomen. Op 13 september 1978 werd in een aantal bestaande en nieuw geplaatste buizen weer regelmatig gemeten. Op 29 mei 1979 werd begonnen met wateronttrekking met wisselende intensiteit door het werkzame aantal pompputten te variëren van 0 tot 12. Deze pompputten lagen ongeveer in S vorm met het geografische middelpunt op de x- en y-coördinaten van respectievelijk 65 100 en 15 750. De afstand tussen de twee putten die het verst van elkaar verwijderd waren, was 1800 meter. De ligging van de putten is aangegeven op bijlage 1.

Inventarisatie van beschikbare grondwaterstandsgegevens op 1 januari 1981 wees uit dat in een gebied, waarbinnen redelijkerwijs mag worden aangenomen dat de invloed van de onttrekking van maximaal tot minimaal zal afnemen, 89 waarnemingsputten liggen met gegevens van vóór

en ná het begin van de onttrekking. Dit gebied is begrensd door de x-coördinaten 57 000 en 69 000 en de y-coördinaten 13 000 en 23 000, Buiten dit gebied zijn nog 5 waarnemingspunten in het onderzoek betrokken, die ook vóór en ná het begin van de onttrekking zijn gemeten.

In dit verslag wordt aangegeven welke conclusies met betrekking tot de invloed van grondwateronttrekking in het Espelose Broek op de grondwaterstanden kunnen worden afgeleid uit de gegevens van de bedoelde waarnemingspunten, die tot en met 14/10 1981 waren verzameld. Er was toen met korte onderbrekingen met verschillende intensiteit vanaf 29 mei 1979 grondwater onttrokken.

2. DE REGRESSIE-ANALYSE

Voor het bewerken van de gegevens werd gebruik gemaakt van de mogelijkheden van het programmapakket Hydropak van het Technisch Secretariaat Cogrowa (Meiborg, niet gedateerd). Hiermee kan men de correlatie- en regressie-coëfficiënten berekenen van de relaties tussen de grondwaterstanden in een bepaald tijdvak op een aantal waarnemingspunten en die op één als referentiepunt gekozen waarnemingspunt. Met de berekende regressiecoëfficiënten kunnen dan uit de grondwaterstanden in de referentiebuis buiten dit tijdvak de overeenkomstige grondwaterstanden op de andere waarnemingspunten worden berekend. Als de voor een bepaald waarnemingspunt in een bepaald tijdvak berekende grondwaterstanden systematisch afwijken van de gemeten waarden dan betekent dit dat op dat punt de grondwaterstandsschommelingen zich op een wezenlijk hoger of lager niveau ten opzichte van die in de referentiebuis zijn gaan voordoen. Een test op de significantie van dit verschijnsel wordt eveneens uitgevoerd. Het wijst erop dat er zich in de hydrologisch situatie op één van beide punten een verandering heeft voorgedaan of dat op beide punten verschillende veranderingen zijn opgetreden. Dit zal bijvoorbeeld het gevolg van grondwateronttrekking kunnen zijn, die op de grondwaterstanden op beide punten een verschillende invloed heeft, afhankelijk van de verschillende afstanden tot het onttrekkingspunt.

Aan het vergelijken van twee reeksen van grondwaterstandswaarnemingen wordt een uitvoerige beschouwing gewijd door STOL (1965). De nadruk wordt gelegd op het feit dat de seizoenschommelingen van het grondwater in verschillende buizen verschillende periodieke functies van de tijd zijn en op het effect hiervan op de samenhang tussen beide reeksen. Het gevolg van deze zogenaamde faseverschillen in de grondwaterstandsfluctuaties is dat het resultaat van het tegen elkaar uitzetten van meerjarige grondwaterstandsreeksen zou bestaan uit een aantal niet samenvallende ellipsen van verschillende vorm. Als kortere dan eenjarige reeksen tegen elkaar zouden worden uitgezet, dan zou het resultaat dus bestaan uit een gedeelte van de omtrek van één van deze ellipsen. Voor de interpretatie van de resultaten van de regressie-analyses met het programmapakket Hydropak heeft dit wel enige consequenties.

3. INTRODUCTIE VAN HET BEGRIP 'SCHIJNBARE VERLAGING'

In figuur 1 is een patroon van niet samenvallende ellipsen van verschillende vorm gegeven, dat de gelijktijdige grondwaterstandschommeling op twee waarnemingspunten over een aantal jaren voorstelt. Een regressielijn geeft de gemiddelde samenhang weer. Aangenomen wordt dat voortgezette meting in beide buizen geen merkbare invloed op de regressiecoëfficiënten zal hebben als er in de hydrologische situatie niets verandert. Nu komt een pompstation in bedrijf. Buis x blijft buiten de invloedssfeer hiervan, maar buis y ligt daar binnen. Als gevolg daarvan gaan de grondwaterstanden bij buis y dalen. De grondwateronttrekking is constant en er ontstaat een nieuw evenwicht. Als men de metingen in beide buizen lang genoeg zou voortzetten dan zal een soortgelijk stel ellipsen ontstaan dat verschoven is ten opzichte van het eerste. Na voldoende metingen zal een regressielijn worden berekend, die niet significant verandert bij voortzetting van de metingen. De verschuiving van deze regressielijn, is figuur 1 weergegeven, naar een lager niveau, geeft de gemiddelde grondwaterstandsdaling op punt y als gevolg van de onttrekking aan. Nu is het moeilijk te zeggen hoeveel jaar men moet meten om de regressielijn te vinden, die

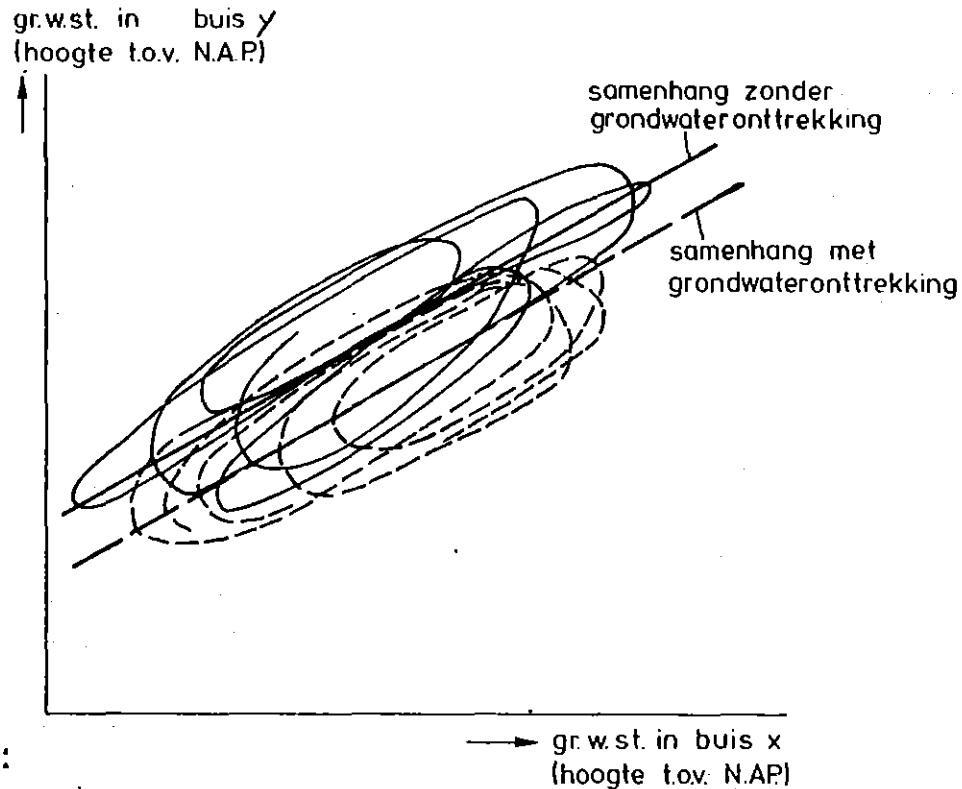


Fig. 1. Schematische voorstelling van de gelijktijdige grondwaterschommeling op twee waarnemingspunten over een aantal jaren voor het begin van grondwateronttrekking (doorlopende lijn) en na het begin daarvan, met invloed op de grondwaterstanden in buis y (onderbroken lijn)

een bepaalde situatie weergeeft zonder significant te veranderen bij voortzetting der metingen. Het is echter wel zeker dat de regressielijnen die relaties tussen grondwaterstandsreeksen voor en na het begin van de onttrekking in het Espelose Broek voorstellen, onnauwkeurigheden hebben, dat wil zeggen te hoog of te laag liggen en een te grote of te kleine helling vertonen. Dit zal vooral zo zijn als slechts korte waarnemingsperioden beschikbaar zijn. Een extreem voorbeeld geeft figuur 2. Hierin zijn van twee buizen in het Espelose Broek op verschillende afstand van de pompputten de grondwaterstanden tegen elkaar uitgezet. Onderscheid is gemaakt naar het aantal pompen dat achtereenvolgens gedurende langere of kortere tijd was ingeschakeld. Het blijkt dat in de buis, die het dichtst bij de pompputten ligt, in perioden met onttrekking weliswaar grondwaterstandsverlagingen waren opgetreden, maar dat deze geen samenhang met de grootte van de ont-

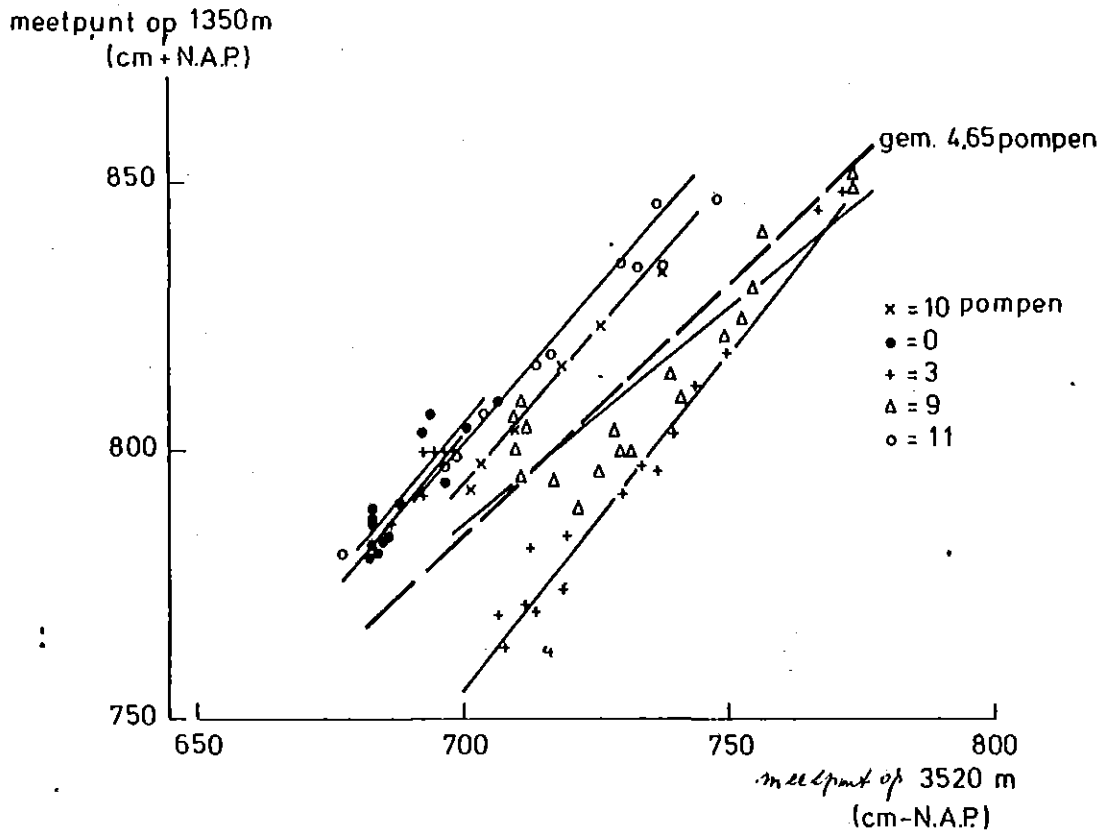


Fig. 2. Extreem voorbeeld van de weinig eenduidige samenhang tussen de grondwaterstanden in twee buizen op zeer verschillende afstand van een grondwateronttrekkingspunt, waar gedurende korte perioden met wisselende intensiteit wordt gepompt

trekking vertonen. In de korte perioden met constante onttrekking hebben kortdurende hydrologische en meteorologische invloeden een zeer grote invloed op het niveau van de regressielijnen. Vooral het verschil tussen de twee perioden waarin slechts drie pompputten werkten is hiervoor illustratief. Daarom zal hierna het begrip 'schijnbare verlaging' worden gehanteerd, die het niveauverschil aangeeft tussen regressielijnen vóór en tijdens een onttrekking met bekende intensiteit, als beide lijnen gebaseerd zijn op een beperkte hoeveelheid gegevens.

Naarmate de tijdvakken, waarover regressielijnen worden berekend, langer zijn, zullen de gevonden schijnbare verlagingen dichter bij de werkelijke verlagingen liggen. Wanneer alle waarnemingen tijdens onttrekking (ongeacht de intensiteit) in figuur 2 worden gebruikt voor de berekening van een gemiddelde regressielijn, dan geeft deze al een betrouwbaarder beeld van de verlaging bij de gemiddelde onttrek-

kingscapaciteit. Het blijft echter in beginsel een schijnbare verlaging die herleid moet worden tot de werkelijke verlaging. Dit betekent in concreto dat moet worden aangegeven bij welke grootte van de schijnbare verlaging het 0-punt voor de werkelijke verlaging ligt.

Op de betekenis van de onnauwkeurigheden van de hellingscoëfficiënten van de regressielijnen wordt ingegaan in par. 5.

4. DE KEUS VAN DE REFERENTIEBUIS

Hoewel het gevoelsmatig beoordeeld nu niet direct voor de hand ligt om als referentiebuis voor de regressie-analyses een waarnemingspunt te kiezen dat dicht bij het onttrekkingspunt ligt is het in beginsel niet onjuist. Het is zeker niet noodzakelijk om een referentiebuis te nemen waarvan het vrijwel zeker is dat hij buiten de invloedssfeer van de onttrekking ligt. Dit is het gevolg van de introductie van het begrip 'schijnbare verlaging'. Voor de referentiebuis geldt uiteraard dat deze altijd 0 is. De in iedere andere buis gevonden schijnbare verlagingen kunnen positief en negatief zijn en hebben op zichzelf geen zelfstandige betekenis. Deze krijgen ze pas als, in combinatie met andere gevallen, uit een samenhang tussen de afstanden tot de onttrekking en de schijnbare verlagingen de werkelijke verlagingen kunnen worden afgeleid. De referentiebuis heeft daarbij geen grotere betekenis dan alle andere buizen en het is in beginsel van geen belang op welke afstand van de onttrekking hij ligt.

Als een andere referentiebuis wordt gekozen dan betekent dit in beginsel slechts een ander nulpunt voor de schijnbare verlaging. De samenhang hiervan met de afstand tot de onttrekking zal er niet door veranderen.

Van veel groter belang dan de afstand tot de onttrekking is dat de referentiebuis zo goed mogelijk representatief is voor het betreffende gebied. Van de buizen, die aan deze eis voldoen zal men die kiezen met een zo lange reeks waarnemingen dat van de andere buizen alle metingen kunnen worden benut. Voor de bewerking van de gegevens van het Espelose Broek is als referentiebuis gebruikt de buis met het TNO-nummer 27HP0028 op \pm 2500 m ten zuidoosten van de onttrekking en

gemeten sinds 14 oktober 1970. De x- en y-coördinaten zijn respectievelijk 63 700 en 13 370. Deze buis ligt niet te dicht bij het waterwingebied Espelo, waar na 1970 pompproeven zijn gehouden, en ver van de relatief steile helling van de Holterberg, oostelijk van de weg Holten-Haarle.

5. DE BEST MOGELIJKE SCHATTING VAN DE SCHIJNBARE VERLAGING

Behalve het niveau van een regressielijn, die een bepaalde situatie moet vertegenwoordigen, kan ook de helling van de regressielijn een fout hebben. Dit zal ook weer gauwer het geval zijn naarmate minder metingen beschikbaar zijn. Vooral als de regressielijn, die de samenhang vóór onttrekking voorstelt, moet worden geëxtrapoleerd zal de berekende schijnbare verlaging sterk worden beïnvloed door de fout in de helling van de regressielijn. In figuur 3 is de hiervoor bedoelde berekening van de schijnbare verlaging voorgesteld als schatting A.

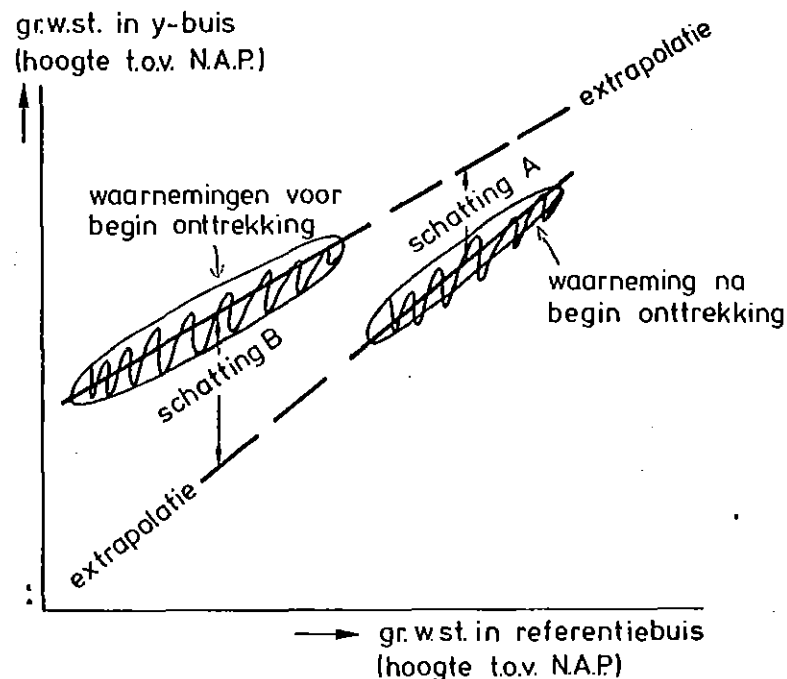


Fig. 3. Schematisch voorbeeld van de twee mogelijkheden om de schijnbare grondwaterstandsverlaging door grondwateronttrekking te schatten met regressieberekening en extrapolatie

De schijnbare verlaging kan met een in beginsel gelijke kans op fouten ook worden bepaald door de regressiecoëfficiënten voor de samenhang tussen de grondwaterstanden in x en y buis ná het begin van de onttrekking te berekenen. Hiermee kunnen dan de grondwaterstanden in de referentiebuïzen vóór het begin van de onttrekking berekend worden. Het gemiddeld verschil hiervan met de in de referentiebuïzen gemeten standen is als schatting B van de schijnbare verlaging aangegeven in figuur 3. Het is duidelijk dat beide schattingen zeer verschillend kunnen uitvallen. Dit behoeft echter niet het geval te zijn en hangt niet alleen van de lengte van de waarnemingsperioden af maar in nog sterkere mate van de vraag of in de vergeleken perioden de grondwater-niveaus ten opzichte van elkaar zijn veranderd, anders dan als gevolg van grondwateronttrekking. In het schematisch voorbeeld in figuur 3 is dit in sterke mate het geval, maar naarmate de waarnemingsperioden langer zijn is de kans hierop kleiner.

Met de grondwaterstandsbuïzen in het Espelose Broek zijn beide berekeningen uitgevoerd. Het bleek dat tussen de schattingen A en B een samenhang bestond met een correlatiecoëfficiënt van $r = 0,997$ wanneer beide schattingen significant waren. Dit was bij 65 buïzen het geval. Voor 28 buïzen waarvan één van beide of beide schattingen niet significant waren, geldt dat $r = 0,938$. Ook deze buïzen tonen dus een nauwe overeenkomst tussen beide schattingen van de schijnbare verlaging en daarom is voor alle buïzen de gemiddelde schijnbare verlaging gecorreleerd met de afstand van de meetbuïzen tot de onttrekking.

6. SAMENHANG TUSSEN DE SCHIJNBARE VERLAGING EN DE AFSTAND TOT DE ONTTREKKING

Aangezien men in het Espelose Broek te maken heeft met een gespreide grondwateronttrekking is de afstand tussen meetpunten en onttrekking geen eenduidige grootte. Vooral bij lage onttrekkingsintensiteiten kan men nogal wat variatie aanbrengen in de spreiding van de onttrekking en zou het kunnen voorkomen dat hetzelfde meetpunt in verschillende perioden verschillende afstanden tot de onttrekking zou

kennen. Maar in de praktijk worden de actieve pompputten zodanig gekozen dat de onttrekking altijd zo breed mogelijk gespreid blijft. Bovendien zijn er na 2½ jaar van grondwateronttrekking nog niet genoeg waarnemingen om bij de bewerking van de gegevens onderscheid te maken naar onttrekkingsintensiteit.

Men kan nu het gemiddelde van de in par. 5 bedoelde schattingen van de schijnbare verlaging in de periode van 29-5-1979 tot en met 14-10-1981 correleren met een voor ieder meetpunt vaste afstand tot de onttrekking. En werden twee mogelijkheden onderzocht namelijk:

1. de afstand tot het geografisch middelpunt van de 12 pompputten;
2. de kortste afstand tot een lijn die de 12 pompputten verbindt.

Het blijkt dat de tweede mogelijkheid nauwere relaties tussen afstand R en schijnbare verlaging S' oplevert. In figuur 4 zijn deze weergegeven. Onderscheid is gemaakt tussen vier kwadranten, die onderling zijn gescheiden door de ordinaten $x = 65\ 000$ en $y = 16\ 000$. In alle vier kwadranten is de samenhang tussen S' en R duidelijk aanwezig hoewel soms een grote spreiding optreedt. Toch zijn er belangrijke verschillen. In het NW en het ZW kwadrant past een groep waarnemingspunten op grote afstand van de onttrekking niet bij de samenhang tussen S' en R bij kleinere afstanden. Deze punten liggen zo ver van de onttrekking dat op grond van modelberekeningen (GRAKIST e.a., 1982) mag worden aangenomen dat ze buiten de invloed hiervan liggen. De gemiddelde waarde van S' voor deze meetpunten kan daarom als het nulpunt van de werkelijke verlaging worden beschouwd. Dit wijkt na 2½ jaar van waarneming al niet ver meer van het nulpunt voor de schijnbare verlaging af.

In het NO en het ZO kwadrant is geen duidelijke aanwijzing voor het nulpunt van de schijnbare verlaging aanwezig. De indruk wordt gewekt dat in deze kwadranten de onttrekking zijn invloed doet gelden, tot op veel grotere afstand dan in de westelijke kwadranten. De oostelijk van de onttrekking sterk toenemende maaiveldhoogte heeft in de oostelijke kwadranten echter een verstorende invloed.

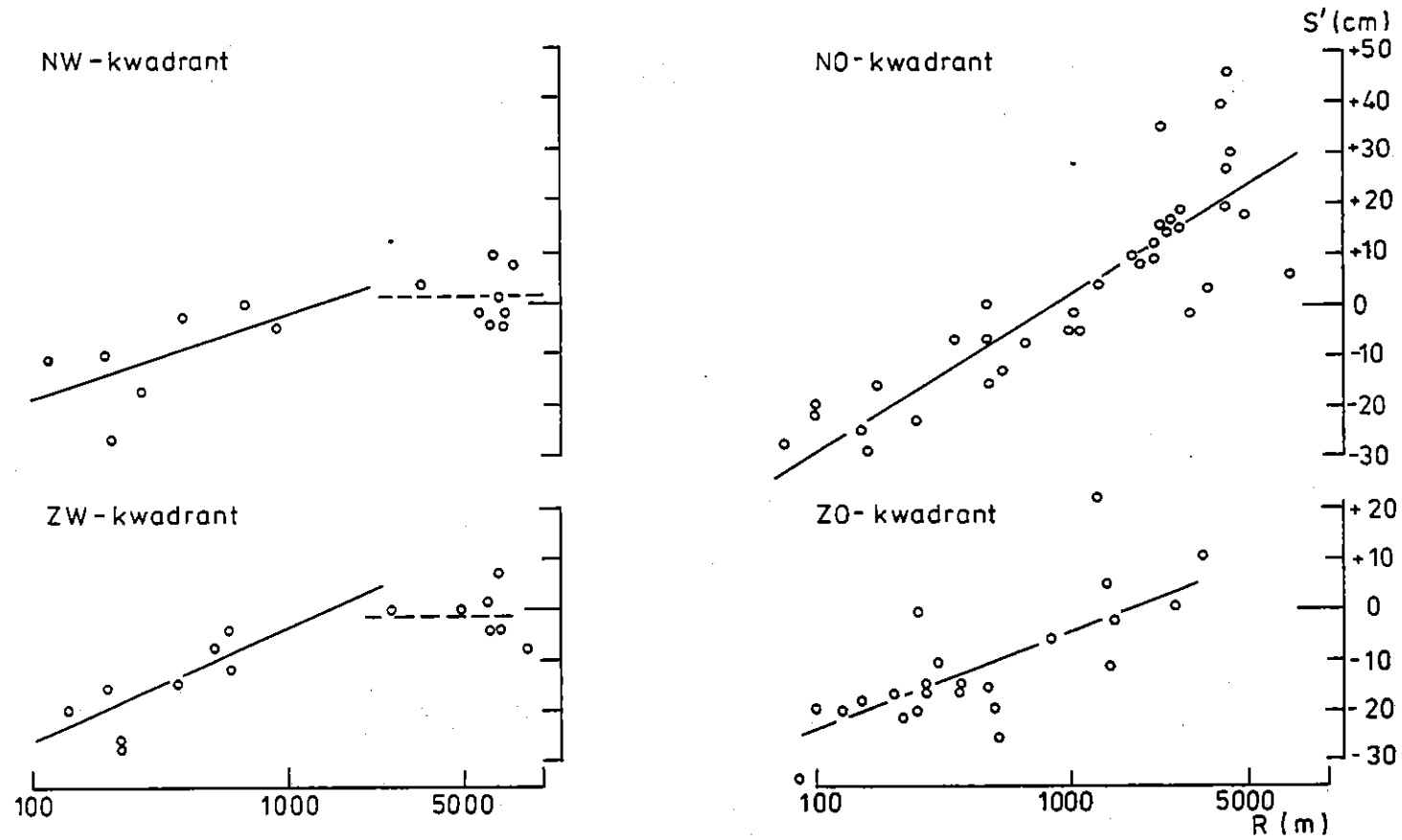


Fig. 4. Samenhang tussen de schijnbare verlaging S' en de kortste afstand R tot de onttrekking in vier kwadranten, gescheiden door de ordinaten $x = 65\ 000$ en $y = 16\ 000$

7. DE INVLOED VAN DE HEUVELRUG

Als de meetpunten in de oostelijke kwadranten, die verder dan 2500 m van de onttrekking liggen, evenals die in de westelijke kwadranten buiten de invloed hiervan zouden zijn, dan zouden ze geen samenhang tussen schijnbare verlaging en de afstand vertonen, tenzij er met de afstand een factor samenhangt, die ook met de schijnbare verlaging gecorreleerd is. Dit is inderdaad het geval. Meetpunten die op meer dan 2500 m van de onttrekking liggen, hebben een grotere maaiveldshoogte naarmate ze oostelijker liggen. In figuur 5 blijkt dat deze meetpunten ook een samenhang vertonen tussen de maaiveldshoogte en de schijnbare grondwaterstandsverlaging. In de westelijke kwadranten is deze gemiddeld 0 cm met een gemiddelde afstand van ± 6300 meter. In de oostelijke kwadranten gaat een toenemende maaiveldshoogte samen met een toenemende positieve schijnbare verlaging. Dit is een stijging van het gemiddelde grondwaterniveau na het begin van de onttrekking en zal samenhangen met het hydrologisch effect dat de heuvelrug heeft op het grondwater op de meetpunten oostelijk van de onttrekking. Hier is op toenemende hoogte het grondwaterniveau en de ontwatering minder intensief. Daardoor wordt de afvoer vertraagd en de berging neemt toe. In de westelijke kwadranten met veel hogere grondwaterstanden en intensievere ontwatering wordt deze bergingstoename onmogelijk door toename van de afvoer en misschien het waterverbruik.

Overigens is op een maaiveldhoogte van ± 16 m deze grondwaterstijging maximaal en toch slechts gemiddeld ± 30 cm ten opzichte van een maaiveldhoogte van minder dan ± 10 m. In verhouding met de gevolgen van grondwateronttrekking is dit echter veel en zeker belangrijk genoeg om geëlimineerd te worden.

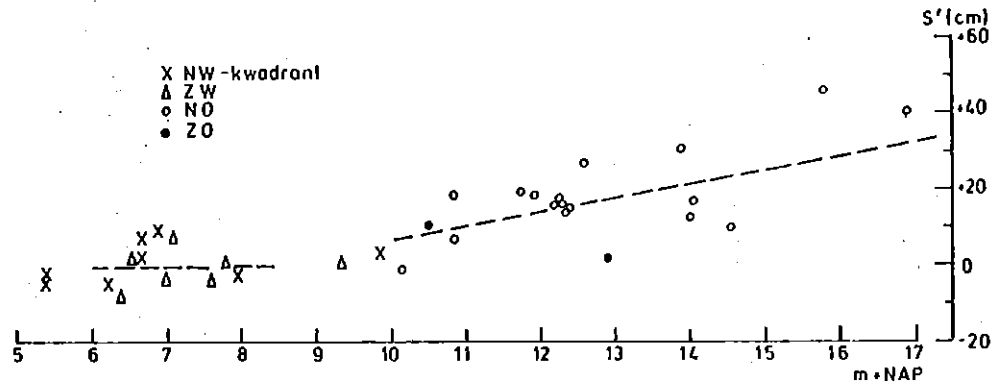


Fig. 5. Samenhang tussen schijnbare verlaging S' en maaiveldhoogte van meetpunten op grotere afstand dan 2500 m van de onttrekking

8. DE WERKELIJKE VERLAGING VAN HET ONDIEPE GRONDWATER

De invloed van de heuvelrug op de grondwaterstanden na het begin van de onttrekking zou kunnen worden geëlimineerd door met de samenhang in figuur 5 de schijnbare verlaging te corrigeren op grond van de maaiveldhoogte. Men zal deze correctie dan voor alle meetpunten moeten uitvoeren en daarbij is het gevaar niet denkbeeldig dat een systematische fout wordt gemaakt. Dit kan gemakkelijk als men er niet in slagen zou om de samenhang in figuur 5 afzonderlijk te bepalen voor de afzonderlijke kwadranten en zo nodig verder gedifferentieerd. Het is veel eenvoudiger om de samenhang tussen R en S' in de afzonderlijke kwadranten vast te stellen op grond van alleen de meetpunten met een maaiveldhoogte, waarbij volgens figuur 5 nog geen grondwaterstijging, zoals bedoeld in par. 7, heeft plaatsgevonden. Dit zijn meetpunten met een maaiveldhoogte tot ± 10 m +NAP, dat zijn alle meetpunten in de westelijke kwadranten, in het NO-kwadrant die tot en met een afstand tot de onttrekking van 670 m en in het ZO-kwadrant die tot en met een afstand van 1435 m. Dit betekent dat in de westelijke kwadranten de regressielijnen in figuur 4 geldig blijven en dat in de oostelijke kwadranten het gemiddelde van de nulpunten voor de

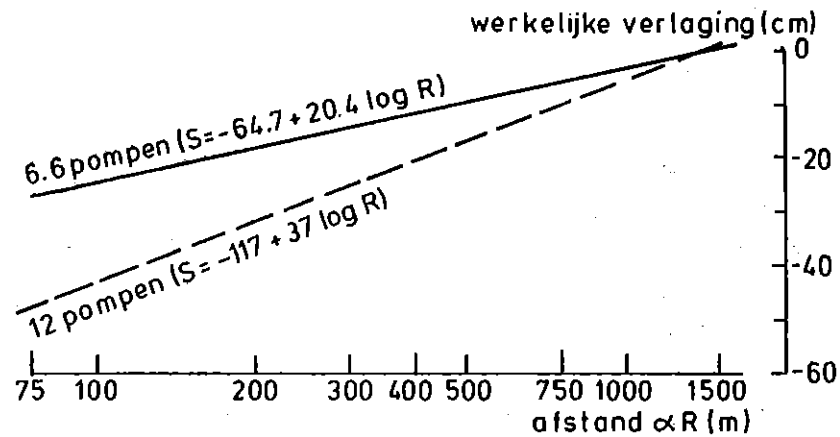


Fig. 6. Samenhang tussen de afstand R tot de onttrekking en de werkelijke verlaging van de grondwaterstand

schijnbare verlaging uit de westelijke kwadranten kunnen worden genomen. Voor de vier kwadranten vindt men nu de volgende regressies:

- NW kwadrant $S' = -51,6 + 16,4 \log R$ $r = 0,563$
- ZW kwadrant $S' = -79,4 + 25,7 \log R$ $r = 0,796$
- NO kwadrant $S' = -67,0 + 20,9 \log R$ $r = 0,751$
- ZO kwadrant $S' = -60,6 + 18,6 \log R$ $r = 0,600$

De regressielijnen voor de verschillende kwadranten zijn dus verschillend maar tests wijzen uit dat deze verschillen niet significant zijn. In figuur 6 is nu het gemiddelde van de samenhang tussen S' en R in de vier kwadranten weergegeven. Het gemiddelde van de nulpunten voor de werkelijke verlaging in de westelijke kwadranten valt samen met dat voor de schijnbare verlaging zodat in figuur 6 de samenhang tussen de afstand tot de onttrekking en de werkelijke verlaging is weergegeven. Het is duidelijk dat deze samenhang geldt voor de gemiddelde onttrekkingsintensiteit gedurende de meetperiode na het begin van de onttrekking. Deze komt overeen met de capaciteit van 6,6 actieve pompen ($\pm 10\,300 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$). Ook de in fig. 6 getoonde extrapolatie naar 12 actieve pompen ($\pm 18\,700 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$) is toelaatbaar omdat grondwaterstandsverlaging lineair samenhangt met de grootte van de onttrekking.

De gemiddelde filterdiepte van de meetpunten waarop figuur 6 is gebaseerd, is 430 cm-maaiveld. Aangezien het in het Espelose Broek om het bovenste grondwater gaat, want de landbouw is de belanghebbende, kan men zich afvragen of de samenhang ook hiervoor geldt. Hoewel er, vooral in het NO-kwadrant aanwijzingen zijn voor een samenhang tussen S' en de filterdiepte, is toch geen significante relatie aantoonbaar. Er moet worden aangenomen dat de verticale weerstand in het bovenste pakket zo gering is dat de relaties in figuur 6 ook voor het bovenste grondwater gelden.

9. EEN VERLAGINGSPATROON

In figuur 6 kan worden afgelezen op welke afstand van de onttrekking bepaalde gemiddelde verlagingen zouden zijn opgetreden bij een voortdurende onttrekking door 12 pompputten. Op Bijlage I is het patroon van verlagingen van 5, 15 en 25 cm weergegeven. Aangezien voor het gehele gebied de samenhang tussen de afstand en de verlaging uiteindelijk met één lijn is weergegeven, wordt het verlagingsspatroon noodzakelijkerwijs bepaald door de ligging van de pompputten. Als er één pompput was geweest dan was het verlagingsspatroon door concentrische cirkels weergegeven.

Wanneer nu deze onvermijdelijke overeenkomst tussen onttrekkingsspatroon en verlagingsspatroon verder buiten beschouwing blijft, dan treft een grote overeenkomst tussen de resultaten van de regressie-analyse van grondwaterstandsgegevens en die van modelberekeningen. In grote lijnen is de vorm van het verlagingsspatroon hetzelfde. De omvang van het gebied begrensd door een verlaging van 5 cm (Bijlage I) houdt volgens de bewerking van grondwaterstandsgegevens ongeveer het midden tussen die voor het eerste watervoerend pakket aan het eind van de winter en die aan het eind van de zomer volgens modelberekeningen (GRAKIST e.a., 1982, Bijlagen 15a en 15c). Dit was te verwachten omdat Bijlage I een gemiddelde weergeeft voor winter en zomer.

10. NABESCHOUWING

Het kenmerk van een gefaseerde statistische bewerking zoals die, waaruit de grondwaterstandsverlaging in het Espelose Broek als gevolg van grondwateronttrekking werd afgeleid, is dat alles wordt herleid tot gemiddelde relaties. De afwijkingen van afzonderlijke meetpunten ten opzichte hiervan worden behandeld alsof ze van toevallige aard zijn en het gevolg is dat detailaspecten in de oplossing van het probleem niet aan de orde komen. De mogelijkheden om hierin verandering te brengen zijn zonder twijfel gering als gevolg van een niet al te grote nauwkeurigheid, die tot uiting komt in de grote spreiding in figuur 4 en de insignificantie van de verschillen tussen de S'-R relaties per kwadrant. Een belangrijke oorzaak hiervan is dat S' per meetpunt wordt afgeleid uit zeer verschillende hoeveelheden metingen vóór het begin der onttrekking. De lengte van de meetperiode vóór het begin der onttrekking varieert van 8 maanden tot 8 jaar. Dit betekent dat de samenhang tussen de grondwaterstanden op twee meetpunten vóór het begin der onttrekking vaak slecht is gedefinieerd. Hierin is geen verbetering meer te brengen. Alleen een groter aantal meetpunten per kwadrant had op de vraag, in hoeverre het verlagingspatroon symmetrisch ten opzichte van de pompputten is, misschien een antwoord kunnen opleveren.

Om voor andere detailaspecten van het onderhavige probleem een oplossing door de bewerking van grondwaterstandsgegevens te geven zijn in ieder geval ook langere meetperioden na onttrekking nodig. Dit zou bijvoorbeeld gelden voor de vraag hoe bij lage onttrekkingsintensiteiten het verlagingspatroon wordt beïnvloed door de spreiding van de onttrekking, waarop in par. 6 al werd ingegaan. Als men genoeg waarnemingen zou hebben in perioden met geringe onttrekking, dan zou een berekening van multiple correlaties tussen de schijnbare verlagingen op de meetpunten van de grondwaterdiepte en de afstanden hiervan tot de werkende pompputten misschien mogelijk worden. Na enige jaren van waarneming is dit nog niet het geval.

Een ander detailaspect is dat van de verlaging in zomer en winter, beter gedefinieerd als zonder en met voeding vanuit sloten en lei-

dingen. Opsplitsing van de waarnemingsperioden in als zodanig gedefinieerde zomer- en winterperioden zou bij voldoende waarnemingen mogelijk zijn. Dit stadium is echter nog niet bereikt.

Samenvattend kan worden gezegd dat op de vraag welke invloed grondwateronttrekking in het Espelose Broek op de grondwaterstanden heeft, alleen een globaal antwoord kan worden gegeven, waarvan detaillering misschien mogelijk wordt als de metingen worden voortgezet. De grootste betekenis van de regressie-analyse van de grondwaterstandsgegevens in dit stadium is dat de resultaten van modelberekeningen er in hoofdzaken door worden bevestigd. De grondwaterstandsgegevens geven immers een directe en ondubbelzinnige aanwijzing van de feitelijke veranderingen die door de grondwateronttrekking zijn opgetreden. Daarom moet worden verwacht dat ook voor detailproblemen de modelberekeningen een betrouwbare oplossing kunnen geven.

LITERATUUR

- MEIBORG, R. (niet gedateerd). Programmapakket voor het opslaan, tekenen en correleren van grondwaterstanden. Cult. Techn. Dienst, Afd. voor technisch wetenschappelijk rekenwerk.
- STOL, Ph.Th., 1965. Het effect van faseverschuivingen op het grondwaterstandsfluctuatiediagram. Landbouwk. Tijdschrift 77e jaarg. nr. 14; 513-529.
- GRAKIST, G. EN W. Post, 1982. Modelonderzoek naar de gevolgen voor de grondwaterstand bij grondwaterwinning te Espelo en Espelose Broek. RID Voorburg.

Bijlage 1

Verlagingspatroon van het ondiepe grondwater als gevolg van de gezamenlijke grondwateronttrekking door 12 pompputten ($\pm 18\,700\text{ m}^3\cdot\text{d}^{-1}$)

