

Vergelijking van twee ruimtelijk-temporele meetstrategieën voor het bepalen van grondwaterstandskarakteristieken

Inleiding

De grondwaterstand, het freatisch niveau ten opzichte van het maaiveld, heeft grote invloed op de landbouwkundige, ecologische en vele andere potenties van gronden. In tegenstelling tot veel andere bodemvariabelen is de grondwaterstand een sterk dynamische variabele. Door de invloed van het weer is de temporele grondwaterstandsvariatie in belangrijke mate een stochastisch proces, dat overigens door de seizoenschommelingen een periodiek verloop heeft. Daarnaast is er door verschillen in maaiveldshoogte, doorlatendheid, berging enz. meestal ook een grote ruimtelijke variatie in het grondwaterstandsverloop.



W. J. M. TE RIELE
DLÖ-Staring Centrum

In Nederland is het Instituut voor Grondwater en Geo-energie TNO belast met de verzameling en het beheer van grondwaterstandsgegevens. Hiertoe is sinds 1948 een omvangrijk meetnet ingericht. Dit omvat thans circa 18.000 meetpunten, waarvan circa 8.000 zogenoemde landbouwbuizen voor het meten van het freatisch grondwatervniveau. Van de landbouwbuizen, die 2 keer per maand worden waargenomen, de zogenoemde stambuizen, kan het verloop van de grondwaterstand in de tijd met kengetallen ofwel grondwaterkarakteristieken worden beschreven. Veel gebruikte grondwaterstandskarakteristieken zijn de zogenoemde Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand (GHG) en de Gemiddeld Laagste Grondwaterstand (GLG) [Van Heesen, 1971; Van der Sluijs en Van Heesen, 1989].

De dichtheid van het net van stambuizen dat representatief is voor de wat wijdere omgeving en waarvan een betrouwbare GHG en GLG kan worden berekend bedraagt slechts circa 1 per 500 ha. Om gebiedsdekkende informatie te krijgen over het verloop van de grondwaterstand, moeten de GHG en GLG worden geïnterpoleerd naar niet-bemeten plaatsen. In het algemeen zal de dichtheid van het stambuizenet ontoereikend zijn voor een betrouwbare ruimtelijke interpolatie van de grondwaterstand.

Om die te realiseren is het noodzakelijk het meetnet, van waaruit de ruimtelijke interpolatie plaatsvindt, te verdichten. In de praktijk zullen hiervoor uit een oogpunt van kosten en tijd, alleen

Samenvatting

In Nederland verloopt de diepte van de grondwaterstand onder invloed van het weer over het algemeen sterk dynamisch. Dit verloop wordt veelal beschreven met grondwaterstandskarakteristieken. Hierbij wordt meestal uitgegaan van het meetnet van het Instituut voor Grondwater en Geo-energie TNO. Vanuit het meetnet wordt de grondwaterstand geïnterpoleerd naar andere, niet-bemeten, plaatsen. In diverse situaties is de dichtheid van dit meetnet evenwel onvoldoende om tot betrouwbare interpolaties te komen.

In dit artikel wordt ingegaan op de mogelijkheid om het meetnet te verdichten door, aan de hand van één gerichte meting op een bepaald tijdstip, de grondwaterstandskarakteristiek te bepalen. Hiertoe zijn twee meetstrategieën, aangeduid als de *klassieke methode* en de *regressiemethode*, onderzocht in een gebied van circa 1.400 ha ten zuidwesten van Putten. Bij de klassieke methode wordt uitsluitend gebruik gemaakt van in principe één TNO-buis, waarvan de grondwaterkarakteristiek aan de hand van langjarige meetgegevens is bepaald. Bij de regressiemethode worden daarbij ook buizen gebruikt met een korte meetreeks, waarvan de grondwaterkarakteristiek door correlatie met de desbetreffende TNO-buis is afgeleid. In het proefgebied zijn beide methoden voor vier situaties (wijzen van stratificatie) gesimuleerd. Gebleken is dat de grootte van de schattingsfouten sterk afhangt van de mate waarin het onderzoeksgebied in hydrologisch opzicht homogeen van samenstelling is. De regressiemethode leidt daarbij in alle situaties tot duidelijk betrouwbaardere uitkomsten dan de klassieke methode. Ook biedt de regressiemethode meer mogelijkheden een geschikt tijdstip te kiezen voor het schatten van de GHG of GLG op basis van één gerichte meting.

methoden in aanmerking komen die met een geringe extra meetinspanning leiden tot (voldoende) nauwkeurige bepalingen van de GHG en GLG.

Een mogelijkheid daartoe is een door Van der Sluijs [1987] ontwikkelde methode, waarbij aan de hand van slechts één grondwaterstandsmeting de GHG of GLG wordt geschat. Hierbij wordt aangenomen dat in een hydrologisch homogeen gebied de grondwaterstand zich op hetzelfde tijdstip overal nagenoeg op het GHG-niveau bevindt. Bij deze methode worden op een tijdstip dat de grondwaterstand in een stambuis overeenkomt met de voor die stambuis berekende GHG, in een groot aantal van te voren gemaakte boorgaten de grondwaterstand gemeten. Deze gemeten grondwaterstanden dienen als schatting van de GHG in de boorgaten. Op deze wijze kan met een relatief geringe inspanning een dicht net van punten met 'gemeten' GHG-waarden worden gerealiseerd.

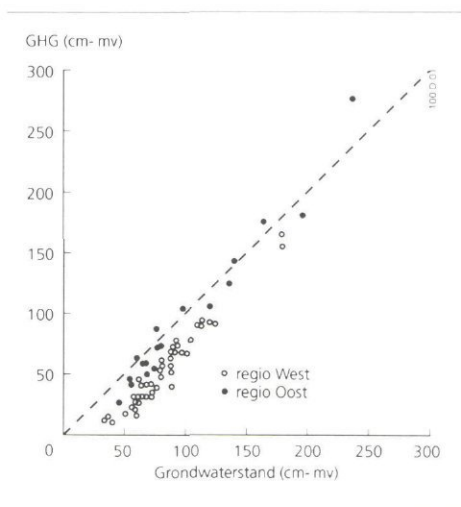
Zoals gezegd moet bij deze methode voldaan zijn aan het criterium dat het gebied 'hydrologisch homogeen' is, in de zin dat de grondwaterstanden zich overal tegelijkertijd op GHG-niveau bevinden. Dit veronderstelt dat de grondwaterstandsfluctuatie binnen zo'n gebied overal synchroon verloopt. Door verschillen in berging, doorlatendheid, dichtheid van het ontwateringssysteem, geo(hydro)logische opbouw van de ondergrond enz., komen echter al op relatief korte afstanden meer of minder grote verschillen in het grond-

waterstandsverloop voor. Zo hebben natte gronden een geringe berging en doorgaans een dicht ontwateringssysteem. Hierdoor heeft het weer (neerslag en verdamping) bij natte gronden over het algemeen een veel grotere en directere invloed op de grondwaterstand dan bij droge gronden. In afbeelding 1 is weer-gegeven hoe op een bepaald tijdstip de relatie is tussen de GHG en de grondwaterstand. Het blijkt dat in deze situatie bij natte gronden de grondwaterstand zich over het algemeen beneden de GHG bevindt, terwijl bij extreem droge gronden deze zich er boven bevindt.

Voorts laat afbeelding 1 zien dat de grondwaterstanden bij een overeenkomstig ontwateringsniveau (GHG) in de ene geohydrologische situatie gemiddeld dieper zijn dan in de andere.

De schattingen van de GHG met een gerichte grondwaterstand kunnen worden verbeterd door hierbij zoveel mogelijk die factoren te betrekken die bepalend zijn voor het grondwaterstandsverloop. Dit kan met (lineaire) regressie, waarbij de samenhang bepaald wordt tussen de GHG en deze factoren. Hiertoe is een aantal referentiebuizen nodig die de variatie in waarden van de desbetreffende factoren representeren. In de praktijk hebben we, gezien het ijl net van stambuizen, doorgaans niet de beschikking over een reeks van referentiebuizen die hierin kunnen voorzien.

Om aan bezwaren tegemoet te komen, hebben we de zogenoemde regressie-

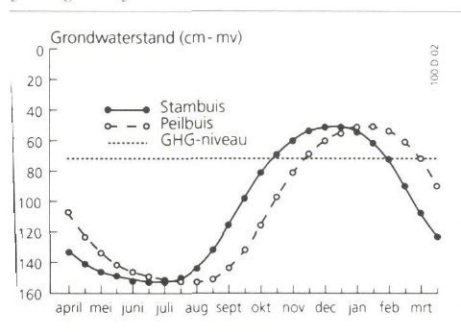


Afb. 1 - Samenhang tussen de GHG en de grondwaterstand op 13-4-1988 in twee verschillende geohydrologische situaties.

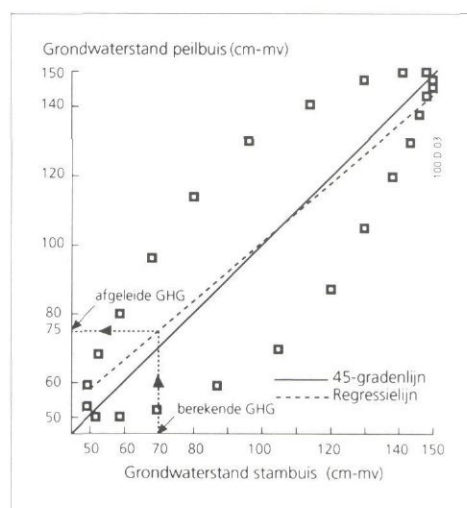
methode geïntroduceerd. Hierbij wordt een aantal buizen, in het vervolg aangeduid als tijdelijke peilbuizen, geplaatst waarin gedurende een kortere periode (1 of 2 jaar) de grondwaterstand wordt gemeten gelijktijdig met de stambuis. De tijdelijke peilbuizen worden zodanig geplaatst in het onderzoeksgebied, dat de variatie van de voorspellende variabelen (bijv. ontwateringsniveau en doorlatendheid) erin vertegenwoordigd zijn. Cruciaal hierbij is dat de onderlinge afwijkingen in de grondwaterstand tussen twee punten met een verschillend grondwaterstandsverloop min of meer periodiek afwisselend positief en negatief zijn. Door toepassing lineaire regressie worden de afwijkingen als het ware 'weggemiddeld', en kan toch voor een punt met een van de stambuis afwijkend grondwaterstandsverloop de GHG redelijk nauwkeurig worden geschat. Op basis van één meting kan dat meestal niet.

Dit is als volgt in te zien. Zoals al is opgemerkt is er in het algemeen sprake van een zekere periodiciteit in het grondwaterstandsverloop. Verschil in hydrologische

Afb. 2 - Schematische weergave van het verloop van grondwaterstand (cm-mv.) in twee denkbeeldige geohydrologische systemen.



situaties uit zich veelal in a-synchroon verloop van deze periodiciteit. Een dergelijke situatie is in afbeelding 2 schematisch weergegeven. Hierin is het verloop van de grondwaterstand op twee denkbeeldige punten, met een stambuis respectievelijk een peilbuis, weergegeven. Op beide punten fluctueert de grondwaterstand op dezelfde diepte beneden maaiveld, zodat voor beide punten dezelfde GHG (bijv. 70 cm) geldt. De fluctuatie van de grondwaterstand op het te interpoleren punt loopt echter achter bij die van de stambuis. In een dergelijke situatie bevindt, in een periode met een stijgend grondwater-niveau, de grondwaterstand zich in de stambuis boven die op het te interpoleren punt (peilbuis); bij dalende grondwaterstanden is het omgekeerde het geval. Hierdoor kan de grondwaterstand in de stambuis zich op het niveau van de GHG bevinden (bijv. in februari), terwijl die in de peilbuis nog ver boven (52 cm) de GHG is (zie afb. 2). Bij lineaire regressie worden echter alle grondwaterstandsmetingen over de periode van bijvoorbeeld een jaar bij de schatting van de GHG betrokken. Dit is weergegeven in afbeelding 3. Doordat de identieke grond-



Afb. 3 - De GHG van de peilbuis, met lineaire regressie afgeleid, uit de stambuis op basis van de metingen uit afbeelding 2.

waterstandsfluctuaties in beide buizen niet synchroon verlopen, liggen de punten niet op de 45°-lijn maar in een boog symmetrisch om deze lijn. Ondanks deze zwakke samenhang tussen de beide meetreeksen (verklaarde variantie = 72%), leidt dit tot een vrij nauwkeurige schatting van de werkelijke GHG. Met lineaire regressie kan dus ook voor peilbuizen met een afwijkend grondwaterstandsverloop de GHG dicht worden benaderd. Zoals uit afbeelding 3 blijkt, wordt hierbij de GHG iets te diep geschat (75 cm in plaats van

70 cm). Dit komt omdat bij lineaire regressie een best passende lijn door de puntenzwerm wordt berekend, zodanig dat in verticale richting de som van de kwadraten van de punten tot de lijn minimaal is. Dit leidt ertoe dat bij deze procedure de GHG gemiddeld iets te diep (de GLG iets te ondiep) wordt geschat. Doel van dit onderzoek is een indruk te krijgen wat de betrouwbaarheid is van de schatting van de GHG en GLG met de door Van der Sluijs [1987] ontwikkelde methode en met de in dit artikel geïntroduceerde regressiemethode.

Hierbij is voor beide methoden de invloed van de factoren ontwateringsdiepte en geohydrologische ligging op de schattings-nauwkeurigheid onderzocht.

Met de twee methoden, respectievelijk aangeduid met *klassieke methode* en *regressiemethode* is zowel de GHG en GLG geschat. Kortheidshalve hebben we ons bij de beschrijving van de gevolgde werkwijze beperkt tot de GHG.

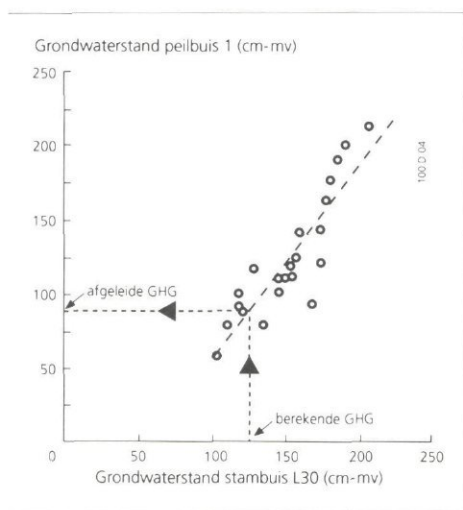
Materialen

Het onderzoeksgebied

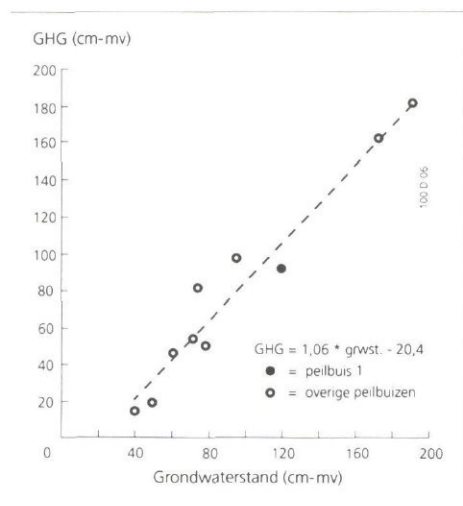
Het onderzoek is uitgevoerd in een gebied in het noorden van de Gelderse vallei, ten zuidwesten van Putten. Het gebied heeft een oppervlakte van circa 1.400 ha en is overwegend in gebruik als grasland. Het is een nogal geaccidenteerd gebied met grondwaterstanden variërend van minder dan 10 cm tot enkele meters beneden maaiveld. De ondiepe ondergrond bestaat uit relatief goed doorlatend fluvio-periglaciaal zand behorende tot de formatie van Twente [Rijks Geologische Dienst, 1975]. In het westelijk deel van het gebied bevindt zich op een diepte van 15 à 20 m de slecht doorlatende Eem-formatie [Grootjans, 1984]. Op grond van het al of niet voorkomen van de Eem-formatie is het gebied onderverdeeld in twee geohydrologische regio's (afb. 4), verder aangeduid als regio West en regio Oost.

De dataset

In, en in de directe omgeving van, het gebied bevinden zich negen buizen met een lange meetreeks (stambuizen), op basis waarvan onder andere de GHG kon worden berekend [Van Heesen, 1971]. Daarnaast zijn nog 64 tijdelijke peilbuizen geplaatst die gedurende circa 2 jaar (periode: juni 1986 tot en met mei 1988) gelijktijdig met de negen stambuizen gemeten zijn. Door correlatie met twee (een nattere in regio West en een drogere in regio Oost) van de negen stambuizen is de GHG en GLG voor de 64 tijdelijke peilbuizen afgeleid. Hoewel deze uitkomsten slechts een schatting zijn van



Afb. 5 - De samenhang tussen de grondwaterstanden op een aantal tijdstippen van peilbuis 1 en stambuis L30 en de daaruit afgeleide GHG van peilbuis 1 (89 cm).



Afb. 6 - De samenhang tussen de GHG en de grondwaterstand op 13-4-1988 in de tien peilbuizen (GHG afgeleid uit stambuis L30).

Regressiemethode:

- geen bijdrage van de geohydrologische variatie
- maximale bijdrage van de variatie in ontwateringsniveau.

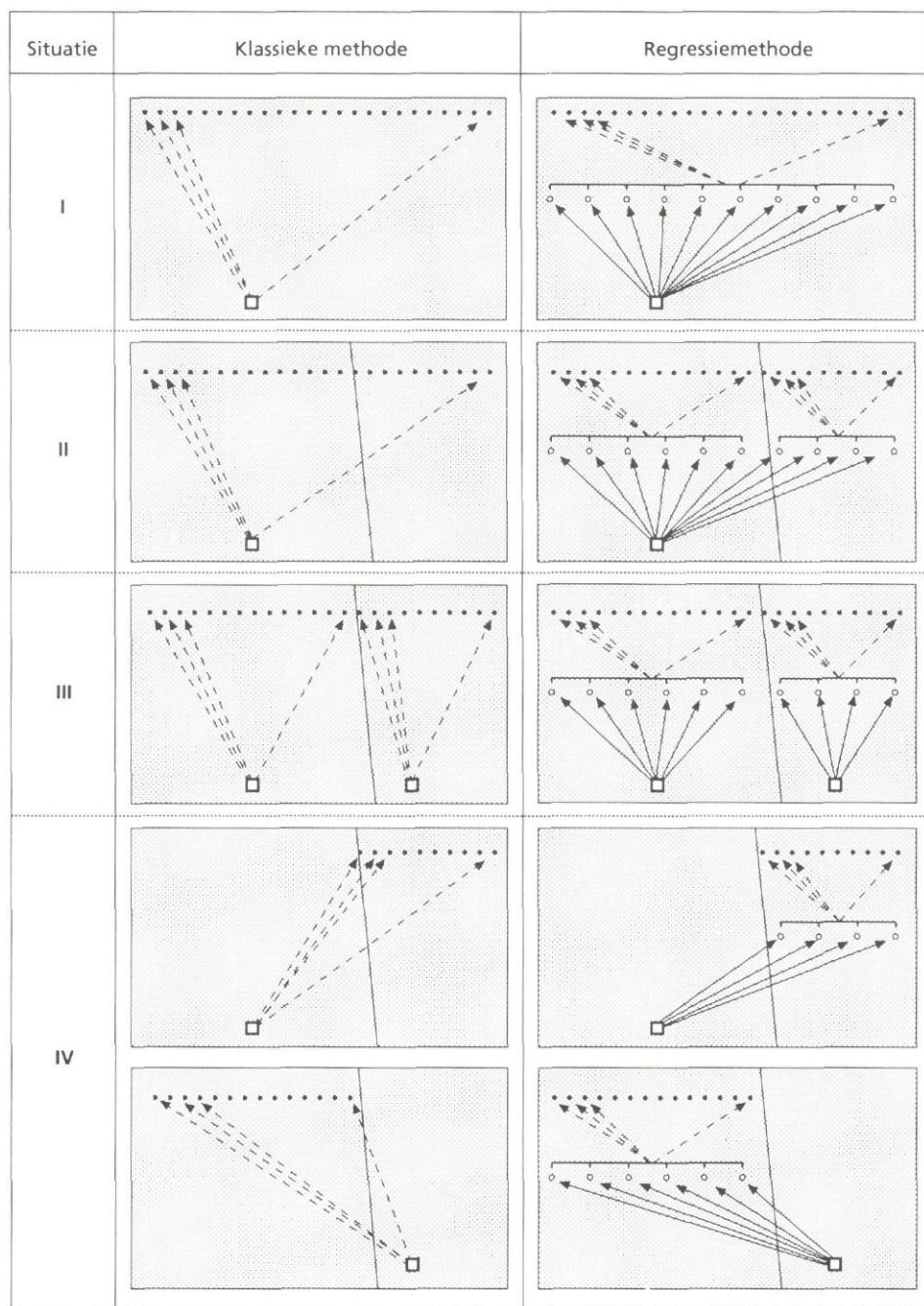
I De situatie waarbij het gebied *wel* kan worden onderverdeeld in twee geohydrologische regio's, maar waar slechts *in één* daarvan een stambuis beschikbaar is.

Klassieke methode:

- geen bijdrage van de geohydrologische variatie
- geen bijdrage van de variatie in ontwateringsniveau.

Regressiemethode:

- beperkte positieve bijdrage van de geohydrologische variatie (via tijdelijke peilbuizen)
- maximale bijdrage variatie in ontwateringsniveau.



● = boorgat ○ = peilbuis □ = stambuis

Afb. 7 - Schematische weergave van de ligging en het gebruik van de stambuizen, tijdelijke peilbuizen en boorgaten in de vier situaties.

III De situatie waarbij het gebied *wel* kan worden onderverdeeld in twee geohydrologische regio's, waarvoor *in elk* een stambuis beschikbaar is.

Klassieke methode:

- positieve bijdrage van de geohydrologische variatie
- geen bijdrage van de variatie in ontwateringsniveau.

Regressiemethode:

- positieve bijdrage van de geohydrologische variatie (via stambuizen en tijdelijke peilbuizen)

- maximale bijdrage van de variatie in ontwateringsniveau.

IV De situatie waarbij het gebied *wel* is onderverdeeld in twee geohydrologische regio's, maar waar de stambuis is gelegen in de *andere* geohydrologische regio dan waarin de schattingen van de gerichte metingen moeten worden uitgevoerd.

Klassieke methode:

- negatieve bijdrage van de geohydrologische variatie (via stambuis)
- geen bijdrage van de variatie in

TABEL II – Per situatie het aantal stambuizen, peilbuizen, boorgaten, simulaties en GHG-schattingen bij toepassing van de klassieke methode en de regressiemethode; (w) = regio West, (o) = regio Oost.

Situatie	Klassieke methode					Regressiemethode				
	Stambuis	Peilbuis	Boorgat	Simulatie	Schatting	Stambuis	Peilbuis	Boorgat	Simulatie	Schatting
I	9	0	54	46	2.484	9	10	54	46	2.484
II	9	0	54	46	2.484	9	6 (w)	39 (w)	46	1.794 (w)
						9	4 (o)	15 (o)	46	690 (o)
III	7 (w)	0	39 (w)	38	1.482 (w)	7 (w)	6 (w)	39 (w)	38	1.482 (w)
	2 (o)	0	15 (o)	8	120 (o)	2 (o)	4 (o)	15 (o)	8	120 (o)
IV	2	0	39	8	312	2 (o)	6 (w)	39 (w)	8	312 (w)
	7	0	15	38	570	7 (w)	4 (o)	15 (o)	38	570 (o)

ABEL III – Samenvatting van de resultaten van de GHG- en GLG-schattingen met de klassieke en de regressiemethode in de vier situaties.										
Klassieke methode					Regressiemethode					n
Situatie	RMSE	ME	MIN	MAX	RMSE	ME	MIN	MAX		
GHG-schattingen										
I	18,8	1,9	– 50	114	13,7	4,6	– 48	65	2.484	
II	18,8	1,9	– 50	114	11,8	4,1	– 52	46	2.484	
III	12,2	0,1	– 42	64	10,3	2,7	– 52	42	1.602	
IV	27,9	5,1	– 50	114	13,8	6,6	– 39	46	882	
GLG-schattingen										
I	19,9	– 4,4	– 89	45	11,1	1,4	– 43	59	1.350	
II	19,9	– 4,4	– 89	45	8,4	0,3	– 43	49	1.350	
III	8,8	0,8	– 45	45	7,5	2,7	– 19	49	855	
IV	29,6	– 13,1	– 89	29	9,7	6,6	– 43	32	495	

RMSE Root Mean Squared Error
ME Mean Error
MIN de laagste schattingsfout
MAX de hoogste schattingsfout

ontwateringsniveau.
Regressiemethode:
– bijdrage van de geohydrologische variatie (negatief via stambuis, positief via tijdelijke peilbuizen)
– maximale bijdrage van de variatie in ontwateringsniveau.

Gegeven de 46 combinaties van tijdstip en stambuis, is in alle vier de situaties 46 keer een gerichte meting gesimuleerd. Het totale aantal GHG-schattingen (aantal simulaties * aantal boorgaten) is niet in alle vier de situaties gelijk. Tabel II geeft per situatie en steekproefstrategie een overzicht van het aantal boorgaten, simulaties en GHG-schattingen.

Resultaten en discussie

We hebben voor de vier situaties de schattingen van de GHG en GLG, verkregen uit de simulaties volgens de twee methoden vergeleken met de werkelijke GHG en GLG. De grootte van de schattingsfouten zijn weergegeven in tabel III. De grootte van de gemiddelde schattingsfout, uitgedrukt in de RMSE (Root Mean Squared Error), geeft inzicht in de grootte van de afwijking van de individuele schattingen. Ze is gedefinieerd als de wortel van het gemiddelde van de gekwadeerde schattingsfouten, dat wil zeggen de geschatte minus de werkelijke waarden. Deze schattingsfout bestaat uit een toevallig deel en een systematisch deel. Het systematische deel komt tot

uiting in de ME (Mean Error). De ME is het rekenkundig gemiddelde van alle individuele schattingsfouten. Uit de ME blijkt in welke mate een methode leidt tot onzuivere schattingen, met andere woorden de GHG systematisch te diep (positieve waarde ME) of te ondiep (negatieve waarde ME) is geschat. De MIN en de MAX geven de laagste respectievelijk de hoogste schattingsfout aan.
Bij de interpretatie van de in tabel III gegeven waarden, moeten we ons realiseren dat deze bepaald zijn aan de hand van de schattingen verkregen bij een groot aantal simulaties (zie tabel II). Dat betekent, dat voor een afzonderlijke simulatie (gerichte meting) de waarde van de RMSE soms groter, soms kleiner is, terwijl die van de systematische fout (ME) in het algemeen groter zal zijn. Deze wordt bij de klassieke methode bepaald door de mate waarin de werkelijke samenhang tussen de GHG en de grondwaterstand afwijkt van de 45⁰-lijn door de oorsprong (afb. 1). Daarnaast door de mate waarin de grondwaterstand in de boorgaten gemiddeld méér van de GHG afwijkt dan de grondwaterstand in de stambuis. Dit heeft tot gevolg dat bij de klassieke methode de gebruikte stambuis de grootte van de schattingsfouten sterk bepaalt [Te Riele en Brus, 1991]. Bij de regressiemethode is dat veel minder het geval omdat dan de berekeningen worden gebaseerd op de grondwaterstand ten

opzichte van de GHG van een aantal buizen (afb. 6). De in tabel III gegeven waarden voor ME geven alleen een indicatie of en op welke wijze er een kans bestaat tot een systematische over- of onderschatting van de GHG of GLG. Voor de MIN- en MAX-waarden geldt da deze bij een afzonderlijke simulatie minder extreem zijn dan in tabel III is weergegeven.
Per onderzochte situatie geven we een korte toelichting op de in tabel III gegeven uitkomsten. Vervolgens gaan we kort in op de invloed van het meettijdstip op de grootte van de schattingsfout.

Situatie I

Uit de waarde voor ME blijkt dat bij toepassing van de klassieke methode de GHG gemiddeld iets te diep is geschat, terwijl de GLG gemiddeld iets te ondiep is geschat. De waarden voor MIN en de MAX laten zien dat deze aanpak op individuele punten echter kan leiden tot zeer grote schattingsfouten. Ook de RMSE van bijna 20 cm geeft aan dat de klassieke methode zowel bij de GHG als de GLG in veel gevallen sterk van de werkelijkheid afwijkende schattingen oplevert.
In deze situatie geeft toepassing van de regressiemethode een aanzienlijke reductie van de schattingsfout op individuele punten. Dit blijkt zowel uit de RMSE als de waarden voor MIN en MAX. Uit de waarde voor ME blijkt dat met toepassing van de regressiemethode gemiddeld de GHG iets dieper is geschat dan bij toepassing van de klassieke methode. Zoals gezegd zijn de in tabel III gegeven uitkomsten gemiddelden over een groot aantal (zie tabel II) simulaties. Tabel IV laat zien dat deze waarden nogal kunnen verschillen voor een afzonderlijke simulatie. Hierbij is de GHG geschat uitgaande van stambuis L30 en de meting op 13-4-1988. Bij deze simulatie bedraagt de systematische fout 21 cm en de toevallige fout 14,6 cm ($\sqrt{[25,6^2 - 21^2]}$). Het grootste deel van de totale schattingsfout (RMSE) wordt bij deze gerichte opname veroorzaakt door de systematische fout. De afname van de RMSE door toepassing van regressiemodellen waarin de grondwaterstand als verklarende variabele is opgenomen, toont aan dat het ontwateringsniveau in belangrijke mate het verschil tussen de GHG en de grondwaterstand op individuele punten bepaalt

Situatie II

Omdat we de beschikking hebben over slechts een stambuis in één van de twee geohydrologische regio's, is het met de klassieke methode niet mogelijk de schattingen per regio te differentiëren.

TABEL IV – De RMSE, ME, MIN en MAX in cm van de GHG-schatting in situatie I, volgens de klassieke methode en de regressiemethode uitgaande van stambuis L30 en de meting op 13-4-1988.

Methode	RMSE	ME	MIN	MAX
Klassieke methode	25,5	- 21,0	- 49	40
Regressiemethode	14,7	- 5,8	- 34	46

Wel kan worden verondersteld dat de schattingen in de andere geohydrologische regio dan waarin zich de stambuis bevindt, minder betrouwbaar zijn (zie toelichting bij situatie IV). Zoals tabel III toont, zijn de uitkomsten van de klassieke methode in deze situatie dan ook identiek aan die in situatie I.

Door de aanwezigheid van de tijdelijke peilbuizen in de twee geohydrologische regio's, kan bij een gerichte meting per regio afzonderlijk een *regressiemodel* worden geschat dat de samenhang tussen bijvoorbeeld de GHG en de grondwaterstand beschrijft. De schattingen van de GHG per peilbuis zijn tot stand gekomen door correlatie met één stambuis. Dit betekent dat steeds voor een deel van de tijdelijke peilbuizen de correlatie is uitgevoerd met een stambuis gelegen in een ander geohydrologisch systeem. Mogelijk zijn de voor die tijdelijke peilbuizen afgeleide GHG-waarden minder nauwkeurig. In dat geval zullen ook de schattingen van de GHG voor de boorgaten in de geohydrologische regio zonder stambuis minder betrouwbaar zijn. Gemiddeld genomen biedt de regressiemethode in deze situatie echter veel betrouwbaardere schattingen dan de klassieke methode (RMSE van GHG en GLG resp. 11,8 en 8,4 cm). Ook ten opzichte van de regressiemethode in situatie I worden betrouwbaardere schattingen verkregen. De beperkte mate waarin op deze wijze rekening kan worden gehouden met verschillen in geohydrologie leidt over het algemeen tot kleinere schattingsfouten bij zowel de GHG als de GLG.

Situatie III

In deze situatie is het mogelijk zowel bij de klassieke als bij de regressiemethode de schattingen per geohydrologische regio afzonderlijk uit te voeren.

De resultaten in tabel III tonen aan dat met de *klassieke methode* per geohydrologische regio afzonderlijk een aanzienlijke reductie van de gemiddelde schattingsfout (RMSE) kan worden gerealiseerd. De sterke afname van de gemiddelde schattingsfout in deze situatie ten opzichte van situatie I, laat zien dat een groot deel van de schattingsfout in situatie I wordt veroorzaakt door het verschil in geohydrologische omstandigheden.

Vergelijken we de uitkomsten van de *regressiemethode* met die van de klassieke methode, dan blijkt dat de schattingsfout nog wat verder kan worden teruggebracht. Ook in deze situatie is het grondwater-niveau een belangrijke verklarende variabele bij het schatten van de GHG en GLG. Bij de regressiemethode bestaat er slechts een gering verschil in RMSE tussen situatie II en III. Dit laat zien dat de aanwezigheid van een stambuis in elke geohydrologische regio slechts in beperkte mate extra bijdraagt in de verklaring van de grondwaterstandsvariatie door geohydrologische verschillen. Vergelijking van de resultaten in situatie III met situatie I bevestigen de door Van der Sluijs [1987] geformuleerde conditie, om bij het schatten van de GHG en GLG met gerichte metingen uit te gaan van hydrologisch homogene gebieden. De betekenis daarvan is echter bij de klassieke methode nog wat groter dan bij de regressiemethode.

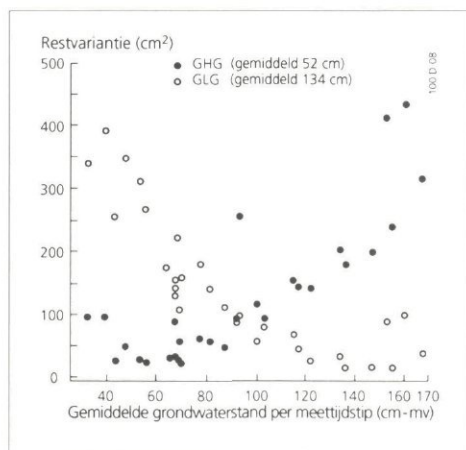
Situatie IV

Deze situatie is in dit concrete geval weliswaar nogal hypothetisch, maar doet zich in de praktijk feitelijk regelmatig voor. Het schatten van de GHG en GLG met de *klassieke methode* op punten (boorgaten) gelegen in een andere geohydrologische regio dan waarin de stambuis ligt, leidt tot een zeer grote gemiddelde schattingsfout (RMSE). In deze situatie is er, vooral bij de GLG-schattingen, bovendien sprake van een grote systematische fout. Dit bevestigt de eerder gemaakte veronderstelling dat bij toepassing van de klassieke methode de schattingen op punten die in een andere (geo)hydrologische situatie liggen dan de stambuis aanzienlijk minder betrouwbaar zijn. Bij de *regressiemethode* zijn in deze situatie voor het schatten van bijvoorbeeld de GHG eerst de GHG-en van een aantal tijdelijke peilbuizen geschat op basis van correlatie met een stambuis gelegen in de andere geohydrologische regio. Vervolgens is op basis van de samenhang tussen de aldus verkregen GHG en de grondwaterstand per peilbuis, de GHG voor de boorgaten geschat. De op deze wijze verkregen schattingen blijken ook in deze situatie veel nauwkeuriger te zijn dan die volgens de klassieke methode zijn verkregen. Vergelijking met de uitkomsten in situatie III laat zien dat de regressie-

methode toegepast op meetpunten gelegen binnen een ander hydrologisch systeem dan de stambuis, leidt tot onnauwkeuriger schattingen. Dit komt omdat de daaraan voorafgaande schattingen van de GHG van de tijdelijke peilbuizen minder nauwkeurig zijn. Zoals al eerder is verklaard, is niettemin het schatten van de GHG over grenzen van afwijkende (geo)hydrologische systemen heen, met een veel grotere mate van nauwkeurigheid mogelijk op basis van een reeks van grondwaterstanden (in tijdelijke peilbuizen) dan op basis van slechts één grondwaterstand in een stambuis. De voorwaarde dat de gebruikte stambuis en boorgaten in overeenkomstige hydrologische gebieden gelegen moeten zijn, kan daarom bij toepassing van de regressiemethode minder dwingend worden opgevat.

Keuze van het meettijdstip

Voor een nauwkeurige schatting van de GHG door een gerichte meting is het vereist uit te gaan van de werkelijke samenhang tussen de GHG en de grondwaterstand op het meettijdstip. Behalve de *juiste samenhang* is vooral ook een *nauwe samenhang* tussen de GHG en de grondwaterstand een voorwaarde voor nauwkeurige schattingen. Het is dus van belang een meettijdstip te kiezen waarbij zoveel mogelijk ook aan de tweede voorwaarde is voldaan. In afbeelding 2 is weergegeven dat een niet-synchroon verloop van de grondwaterstand op twee punten oorzaak kan zijn van een verschil in afwijking tussen de grondwaterstand en de GHG. Dit verschil in afwijking kan ook het gevolg zijn van verschil in fluctuatiegrootte van de grondwaterstand. Dit onderlinge verschil in afwijking tussen punten neemt toe naarmate het gemiddelde grondwater-niveau zich verder boven of onder het GHG-niveau bevindt. Dit betekent dat de samenhang tussen de GHG en de grondwaterstand in het algemeen groter zal zijn naarmate het gemiddelde grondwater-niveau minder van het GHG-niveau afwijkt. Een maat voor de samenhang is de grootte van de restvariantie van het regressiemodel die de samenhang beschrijft, waarbij de samenhang nauwer is naarmate de restvariantie kleiner is. In afbeelding 8 is voor 30 tijdstippen deze restvariantie uitgezet tegen het gemiddelde grondwater-niveau. Dit heeft betrekking op een gebied met een gemiddeld GHG-niveau van 52 cm en een gemiddeld GLG-niveau van 134 cm. Duidelijk komt tot uiting dat op tijdstippen waarop de gemiddelde grondwaterstand nagenoeg overeenkomt met



Afb. 8 - De restvariantie van de regressiemodellen die de samenhang beschrijven tussen de GHG respectievelijk de GLG en de grondwaterstand op 30 meettijdstippen, uitgedrukt tegen de gemiddelde grondwaterstand per meettijdstip.

het GHG-niveau de restvariantie over het algemeen het kleinst, dus de samenhang het nauwst is. Het is van belang gerichte metingen te verrichten op tijdstippen dat het gemiddelde grondwaterniveau zoveel mogelijk overeenkomt met het GHG- of GLG-niveau. Bij de klassieke methode, zoals in dit onderzoek is toegepast, kan de mate waarin de grondwaterstanden overeenkomen met de GHG slechts worden afgeleid uit één stambuis. Bij de regressiemethode kunnen daarvoor behalve de GHG van de stambuis ook de voor de tijdelijke peilbuizen berekende GHG worden gebruikt. Daardoor is het met de regressiemethode beter mogelijk op basis van het niveauverschil tussen GHG en grondwaterstand een geschikt meettijdstip te kiezen dan met de klassieke methode [Te Riele en Brus, 1991].

De regressiemethode geeft daarnaast ook enig inzicht in de mate van samenhang tussen de GHG en de grondwaterstand aan de hand van de tijdelijke peilbuizen, wat kan helpen bij de keuze van het meettijdstip. Ook geeft de mate van deze samenhang een indicatie over de betrouwbaarheid van de GHG-schattingen in de boorgaten.

Conclusies

1. Bij het schatten van de GHG of GLG met de klassieke methode bestaat een flinke kans op het maken van grote tot extreem grote schattingsfouten.
2. Met de toepassing van de regressiemethode kan een aanzienlijke reductie van de grootte van de schattingsfout (RMSE) worden gerealiseerd, terwijl het maken van extreem grote fouten vrijwel kan worden uitgesloten.
3. De aanwezigheid van verschillende

(geo)hydrologische systemen is van grote invloed op de schattingsnauwkeurigheid van de klassieke methode.

4. De regressiemethode biedt de mogelijkheid te differentiëren naar ontwateringsdiepte en geohydrologische omstandigheden en leidt daardoor in hydrologisch niet-homogene gebieden tot veel betrouwbaardere resultaten dan de klassieke methode.

5. Met de regressiemethode kan veel beter dan met de klassieke methode een geschikt tijdstip worden gevonden voor de uitvoering van een gerichte meting.

Literatuur

- Grootjans, P. (1984). *De geohydrologische beschrijving van de provincie Gelderland*. Dienst Grondwaterverkenning TNO; Dienst Waterbeheer, Provincie Gelderland.
- Heesen, H. C. van (1971). *De weergave van het grondwaterstandverloop op bodemkaarten*. Boor en Spade 17: 127-149.
- Riele, W. J. M. te en Brus, D. J. (1991). *Methoden van gerichte grondwaterstandsmetingen voor het schatten van de GHG*. Wageningen, Staring Centrum. Rapport 158.
- Rijks Geologische Dienst, (1975). *Toelichting bij geologische overzichtskaarten van Nederland*. Haarlem, Rijks Geologische Dienst.
- Sluijs, P. van der, (1987). *Grondwatertrappen*. In: W. P. Locher en H. de Bakker (eds.), *Bodemkunde van Nederland Deel 1. Leer- en handboek op hoger onderwijsniveau*. Wageningen, Stichting voor Bodemkartering.
- Sluijs, P. van der en Heesen, H. C. van (1989). *Veranderingen in de berekening van de GHG en de GLG*. Landinrichting 29(1): 18-21.

● ● ●

Dertig procent van de bestrijdingsmiddelen in een verdachte hoek

Bijna 30% van de in Nederland beoordeelde bestrijdingsmiddelen in de agrarische sector kan bij één of meerdere toepassingen een risico opleveren voor waterorganismen. Dit blijkt uit een overzichtsrapport dat is uitgebracht door het RIVM op verzoek van het ministerie van VROM. Het rapport geeft een overzicht van de milieu-eigenschappen van 243 bestrijdingsmiddelen die in Nederland worden gebruikt. Het is het grootste bestrijdingsmiddelen-overzicht wat betreft de milieueffecten dat ooit in Nederland is uitgebracht.

Milieu-effecten

Onderzocht zijn de effecten die de bestrijdingsmiddelen kunnen hebben op organismen in het milieu, zoals mate van giftigheid voor algen, regenwormen, vissen,

bijen, vogels en kreeftachtigen, risico van doorvergiftiging via vis en de mate van afbreekbaarheid en het risico van uitspoeling van de middelen in de grond. Vaak blijkt dat de bestrijdingsmiddelen specifiek risico inhouden voor bepaalde diersoorten. Uit het rapport blijkt tevens dat 50% van de beoordeelde middelen goed afbreekbaar is in de grond. Deze middelen hebben een halfwaardetijd van minder dan 20 dagen. *Daarentegen is bijna 20% van de stoffen slecht afbreekbaar in grond: deze stoffen hebben een halfwaardetijd van meer dan 90 dagen. Modelberekeningen tonen aan dat bijna 20% van de beoordeelde bestrijdingsmiddelen in het grondwater terecht kan komen in een concentratie van meer dan 0,1 microgram per liter. De drinkwaternorm zou daarmee overschreden worden.*

Toelatingsnormen

De normen voor toelating van bestrijdingsmiddelen in Nederland zijn zodanig streng dat er bij toepassing volgens gebruiksadvies geen onaanvaardbaar risico voor de mens mag ontstaan. *Tevens mag het gebruik geen onaanvaardbaar risico voor waterorganismen opleveren. Dat laatste is bij bijna 30% van de beoordeelde middelen wel het geval. Deze middelen voldoen daarmee nog niet aan criteria die ons land wil hanteren bij de toelating van nieuwe middelen.*

Dat de middelen in de verdachte hoek toch legaal kunnen worden toegepast is te verklaren doordat deze stoffen indertijd zijn toegelaten op basis van oude criteria. Overigens moet Nederland de toelatingscriteria binnenkort aanpassen aan de minder strenge eisen die zijn vastgelegd in de Uniforme Beginselen van de Europese Unie. Deze zijn in juni door de Europese landbouwministers vastgesteld. (Persbericht RIVM)

Ontwerp NEN-ISO 10301

Het Nederlands Normalisatie-instituut heeft ter kritiek het ontwerp NEN-ISO 10301 'Water. Bepaling van zeer vluchtige gehalogeneerde koolwaterstoffen. Gaschromatografische methoden (ISO/DIS 10301: 1994)' ter kritiek gepubliceerd. Kritiek op de NEN-ISO 10301 wordt verwacht vóór 15 oktober 1994. Exemplaren van het ontwerp NEN-ISO 10301 zijn tegen vergoeding verkrijgbaar bij het Nederlands Normalisatie-instituut, Postbus 5059, 2600 GB Delft, telefoon 015 - 69 03 90.