

## Methoden van gerichte grondwaterstandsmetingen voor het schatten van de GHG



**Methoden van gerichte grondwaterstandsmetingen voor het  
schatten van de GHG**

**W. J. M. te Riele  
D. J. Brus**

**Rapport 158**

**DLO-STARING CENTRUM, Wageningen, 1991**

## REFERAAT

Riele W.J.M. te en D. Brus, 1991. *Methoden van gerichte grondwaterstandsmetingen voor het schatten van de GHG*. Wageningen, DLO-Staring Centrum, Rapport 158. 35 blz.; 10 fig.; 9 tab.

Om van gronden de (landbouwkundige) gebruiksmogelijkheden of de gevoeligheid voor uitspoeling van nutriënten en verontreinigde stoffen vast te stellen, is nauwkeurige informatie over het niveau en het verloop van de grondwaterstand vereist. Onderzocht is of met een gerichte opname van grondwaterstanden nauwkeurige schattingen van de GHG kunnen worden verkregen. Er zijn één vigerende en twee regressiemethoden met elkaar vergeleken. Er is onderzocht:

- a. wat de nauwkeurigheid van de schattingen bij de drie methoden is;
- b. hoe een geschikt meettijdstip gevonden kan worden met de drie methoden;
- c. wat de invloed van het weer voorafgaande aan de meting op de nauwkeurigheid van de schattingen is;
- d. wat de invloed van 2 resp. 3 metingen is op de nauwkeurigheid van de schattingen.

Bij de vigerende methode worden mogelijk grote fouten gemaakt bij het schatten van de GHG. Bij de in dit onderzoek ontwikkelde methode is dat vrijwel uitgesloten.

Trefwoorden: gerichte opname, GHG

ISSN 0924-3070

© 1991 DLO-Staring Centrum Instituut voor Onderzoek van het Landelijk Gebied  
Postbus 125, 6700 AC Wageningen  
Tel.: 08370-74200; telefax: 08370-24812; telex: 75230 VISI-NL

Het DLO-Staring Centrum is een voortzetting van: het Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding (ICW), het Instituut voor onderzoek van bestrijdingsmiddelen, afd. Milieu (IOB), de Afd. Landschapsbouw van het Rijksinstituut voor Onderzoek in Bos en Landschapsbouw "De Dorschkamp" (LB) en de Stichting voor Bodemkartering (STIBOKA).

Het DLO-Staring Centrum aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van adviezen.

Niets uit deze uitgave mag worden veelevoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm en op welke andere wijze ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van het DLO-Staring Centrum.

## INHOUD

	Blz.
WOORD VOORAF	7
SAMENVATTING	9
1 INLEIDING	11
2 BESCHRIJVING VAN HET STUDIEGEBIED EN DE VERZAMELDE GEGEVENS	13
3 ONDERZOCHE METHODEN VAN GERICHTE OPNAME	15
3.1 Vigerende methode	15
3.2 Regressiemethoden	16
3.2.1 Stambuis-regressiemethode	16
3.2.2 SCbuis-regressiemethode	18
4 SCHATTINGSNAUWKEURIGHEID	21
4.1 Vigerende methode	21
4.2 Regressiemethoden	22
4.2.1 Stambuis-regressiemethode	22
4.2.2 SCbuis-regressiemethode	23
5 DE GESCHIKTHEID VAN TIJDSTIPPEN VOOR EEN GERICHTE OPNAME	25
5.1 Inleiding	25
5.2 Vigerende methode	26
5.3 Regressiemethoden	27
5.3.1 Stambuis-regressiemethode	27
5.3.2 SCbuis-regressiemethode	27
5.4 Het neerslagoverschot	30
6 METEN OP MEER DAN EEN TIJDSTIP	31
7 CONCLUSIES	33
LITERATUUR	35
FIGUREN	
1 Ligging van het studiegebied	13
2 Samenhang tussen de GHG en de grondwaterstand op 28 november 1986 van de negen stambuizen	17
3 Samenhang tussen de GHG en de grondwaterstand op 28 november 1986, met daarin aangegeven de geohydrologische situering van de meetpunten	17
4 Samenhang tussen de GHG en de grondwaterstand op 28 november 1986 van de tien SCbuizen + stambuis L-42	18

	Blz.
5 Frequentieverdeling RMSE bij toepassing van de vigerende methode resp. de SCregressie-methode	24
6 De samenhang tussen de "werkelijke" restspreiding en het absolute grondwaterstandsverschil op de 30 meettijdstippen t.o.v. de GHG van stambuis L-73	28
7 De samenhang tussen de "werkelijke" restspreiding en het gemiddelde absolute grondwaterstandsverschil op de 30 meettijdstippen t.o.v. de GHG van stambuis L-73 en de 10 daaruit afgeleide referentiebuizen	29
8 De samenhang tussen de "werkelijke" restspreiding enerzijds en het gemiddelde absolute grondwaterstandsverschil t.o.v. de GHG en de modelrestspreiding anderzijds	29
9 De samenhang tussen de "werkelijke" restspreiding en het cumulatief neerslagoverschot in de week voorafgaande aan meting op de 30 meetdata	30
10 Frequentieverdeling restspreiding bij toepassing van 1, 2 of 3 metingen	32

#### TABELLEN

1 De gemeten grondwaterstanden van 9 stambuizen op 30 tijdstippen, alsmede de berekende GHG	15
2 Geschatte GHG van de 10 geselecteerde SCbuizen in afhankelijkheid van de gebruikte stambuis	19
3 Gemiddelde fout (RMSE) in cm van GHG-schattingen met de vigerende methode	21
4 Gemiddelde fout (RMSE) in cm van GHG-schattingen met de de stambuis-regressiemethode	22
5 Gemiddelde fout (RMSE) in cm van GHG-schattingen met behulp de SCbuis-regressiemethode	24
6 Regressie-parameters, de restspreiding en het percentage verklaarde variantie van de samenhang tussen de GHG enerzijds en de grondwaterstand op de 30 meettijdstippen en de geohydrologische ligging anderzijds	25
7 Per onderzochte methode de criteria die gebruikt zijn om te beoordelen in welke mate een tijdstip geschikt is voor het uitvoeren van een gerichte opname	26
8 Per stambuis de samenhang tussen de "werkelijke" restspreiding en  GHG-gws	27
9 Per stambuis de samenhang tussen de "werkelijke" restspreiding en resp.  GHG-gws , de modelrestspreiding afzonderlijk en de combinatie van  GHG-gws  en modelrestspreiding	28

## WOORD VOORAF

Het onderzoek is een onderdeel van het takenpakket van de afdeling Ontwikkeling Landinventarisatiemethoden. Deze afdeling stelt zich ten doel om nieuwe methoden te ontwikkelen die meer kwantitatieve informatie opleveren over de ruimtelijke en temporele variabiliteit van landkenmerken.

Wij zijn dank verschuldigd aan dr.ir. J.J. de Grijter, ir. A.F. van Holst en ir. B.J.A. van der Pouw die opbouwende kritische kanttekeningen hebben geplaatst bij het concept van dit rapport.





## SAMENVATTING

In een groot deel van Nederland wordt de landbouwkundige waarde van grond en de gevoeligheid voor uitspoeling van nutriënten en verontreinigende stoffen voor een belangrijk deel bepaald door het niveau van het grondwater en het verloop ervan in de tijd. Het DLO-Staring Centrum geeft op bodemkaarten met grondwatertrappen het grondwaterstandsverloop weer. Bij de vaststelling hiervan wordt in belangrijke mate gebruik gemaakt van schattingen aan de hand van zogenaamde hydromorfe kenmerken. Deze schattingen worden onderbouwd met metingen van de grondwaterstand in een groot aantal boorgaten verspreid over het gebied, op een tijdstip dat het grondwater in een stambuis zich op het niveau van de GHG bevindt. Deze grondwaterstand wordt gehanteerd als schatting van de GHG. Doel van dit onderzoek is na te gaan wat de nauwkeurigheid van de aldus verkregen GHG-schattingen is en op welke wijze deze kan worden vergroot.

Het onderzoek is uitgevoerd in een gebied (ca. 1400 ha) ten westen van Putten met 9 stambuizen en 64 zelfgeplaatste buizen met bekende GHG.

In dit onderzoek zijn drie methoden voor het schatten van de GHG onderzocht.

- a De vigerende methode. Hierbij wordt op basis van een stambuis het tijdstip van grondwaterstandsmeting bepaald en de GHG wordt verondersteld gelijk te zijn aan de gemeten grondwaterstand, eventueel plus of min een kleine constante waarde n.l. het verschil tussen GHG en grondwaterstand op dat tijdstip in de stambuis.
- b De stambuis-regressiemethode. Bij deze methode, die in de praktijk alleen mogelijk is bij aanwezigheid van meerdere stambuizen, wordt door middel van lineaire regressie de relatie vastgesteld tussen de GHG en de grondwaterstand. Het aldus verkregen regressiemodel wordt vervolgens gebruikt om uit de gemeten grondwaterstand in de boorgaten de GHG te schatten. Het bezwaar van deze methode is dat in de praktijk veelal geen of onvoldoende buizen aanwezig zijn om een betrouwbaar regressiemodel te formuleren en de aanwezige buizen bovendien niet de range van voorkomende grondwatertrappen bestrijken.
- c De SCbuis-regressiemethode. Bij deze methode wordt een aantal grondwaterstands-buizen (hierna DLO-Staring Centrum buizen genoemd, afgekort tot SCbuizen) geplaatst waarin gedurende enige tijd (bijv. een jaar) de grondwaterstand wordt gemeten. Op dezelfde tijdstippen wordt ook de grondwaterstand in een stambuis gemeten. Door correlatie van deze metingen met die in de stambuis wordt van de SCbuizen de GHG bepaald. Vervolgens wordt dan weer d.m.v. lineaire regressie de relatie vastgesteld tussen de grondwaterstand op een nieuw tijdstip (het moment van gerichte opname) en de GHG van de SCbuizen.

Door de SCbuizen goed te verdelen over de aanwezige grondwatertrappen kan aan het onder b genoemde bezwaar tegemoet worden gekomen. In dit onderzoek is deze gesimuleerd door van de 64 buizen er 10 als SCbuizen en de overige 54 als boorgaten te beschouwen.

In het studiegebied bleek ook de geohydrologische ligging bepalend te zijn voor het grondwaterstandsverloop. De geohydrologische ligging is daarom ook als voorspellende variabele in de regressiemodellen opgenomen.

Van de drie methoden is de schattingsnauwkeurigheid onderzocht. Hierbij is steeds uitgegaan van de 15 meettijdstoppen die bij toepassing van het basismodel voor een gerichte opname in aanmerking kwamen. Bij toepassing van de vigerende methode liep de gemiddelde schattingsfout (RMSE) uiteen van 5,0 tot 57,2 cm met een gemiddelde van 15,2 cm. Door toepassing van regressiemodellen op basis van de 9 stambuizen wordt de gemiddelde RMSE teruggebracht tot 13,7 cm. Bovendien is de variatie van deze schattingsfout minder groot. De methode met regressiemodellen op basis van de SCbuizen leidt tot een aanzienlijke verdere reductie van het gemiddelde en de variatie van de schattingsfout.

Omdat de mate van samenhang tussen grondwaterstand en de GHG sterk varieert in de tijd, is er behoefte aan criteria waarmee de geschiktheid van een tijdstip voor het uitvoeren van een gerichte opname kan worden beoordeeld. Het blijkt dat de geschiktheid van een tijdstip voor een gerichte opname in sterke mate bepaald wordt door het absolute verschil tussen het gemiddelde grondwaterniveau en de GHG. Tijdstippen met een gering verschil zijn het meest geschikt. Met de vigerende methode, waarbij slechts op basis van een buis het verschil tussen grondwaterstand en GHG is vast te stellen, is het slechts in beperkte mate mogelijk een geschikt meettijdstop te vinden. Met de regressiemethoden, in het bijzonder de SCbuis-regressiemethode is dat veel beter mogelijk. De grootte van de restspreiding van het regressiemodel kan daarbij meer zekerheid verschaffen omtrent de geschiktheid van een meettijdstop.

Verder is onderzocht wat de invloed is van het neerslagoverschot in de periode die vooraf gaat aan de gerichte opname op de nauwkeurigheid van de GHG-schattingen. Het blijkt dat een groter neerslagoverschot leidt tot een iets grotere restspreiding maar over het algemeen is de invloed van het neerslagoverschot op de restspreiding gering.

Tenslotte is nagegaan in hoeverre de nauwkeurigheid van GHG-schattingen verder vergroot kan worden door ook de meting gedaan tijdens de gerichte opname op "GLG-tijdstip", mee te nemen. Gebleken is dat de restspreiding afneemt. Dit effect wordt nog aanzienlijk versterkt wanneer er een derde meting wordt meegenomen op een tijdstip dat het grondwater zich ongeveer op het niveau halverwege de GHG en GLG bevindt.

## 1 INLEIDING

Diepte en fluctuatie van het grondwater bepalen in grote delen van Nederland in sterke mate de teeltmogelijkheden van gronden. Ook in ecologisch opzicht zijn deze grootheden dominant. Daarnaast is de gevoeligheid van gronden voor de uitspoeling van nutriënten en verontreinigende stoffen afhankelijk van het niveau van het grondwater en het verloop daarvan in de tijd.

Het DLO-Staring Centrum geeft op bodemkaarten door middel van grondwatertrappen het grondwaterstandsverloop weer. Grondwatertrappen zijn gedefinieerd op basis van langjarige gemiddelden van hoogste grondwaterstanden (GHG) en laagste grondwaterstanden (GLG) (Van Heesen, 1971; Van der Sluijs, 1982; Van der Sluijs en Van Heesen, 1989). Voor het schatten van de GHG en GLG wordt in belangrijke mate gebruik gemaakt van de zogenaamde hydromorfe kenmerken: profielkenmerken zoals voorkomen van roest en van reductiekleuren die gerelateerd zijn aan de grondwaterfluctuatie. Het grondwaterniveau is de laatste decenia onder andere door verbeterde ontwatering en grondwateronttrekkingen aanzienlijk gedaald. Hierdoor zijn met name de hydromorfe profielkenmerken vervaagd en, voor zover nog aanwezig, niet in overeenstemming met de actuele hydrologische situatie. Daarom is het noodzakelijk de schattingen te onderbouwen met metingen van de grondwaterstand.

In het bestand van het Instituut voor Grondwater en Geo-energie TNO zijn van een groot aantal meetpunten (peilbuizen) verspreid over Nederland meetgegevens aanwezig over een lange reeks van jaren. De buizen die met een frequentie van tweemaal per maand gepeild worden, worden stambuizen genoemd. Van deze stambuizen is op basis van de zogenaamde HG3- en LG3-methode (Van Heesen, 1971) de GHG en de GLG te berekenen. Omdat de dichtheid van dit meetnet te gering is voor een kartering van grondwatertrappen op bijvoorbeeld kaartschaal 1 : 50 000, is de methode van de gerichte opname ingevoerd (Van der Sluijs, 1987). Bij deze methode wordt in een groot aantal boorgaten de grondwaterstand gemeten op een tijdstip dat het grondwater in een stambuis zich op het niveau van de GHG bevindt. Deze grondwaterstand wordt gehanteerd als schatting van de GHG. Op deze manier is het mogelijk in korte tijd op een groot aantal punten de GHG te schatten op basis van een gemeten grondwaterstand. Op analoge wijze kan dat ook worden gedaan voor de GLG.

De betrouwbaarheid van deze methode, die we in het vervolg aanduiden met de vigerende methode, is in verschillende bodemkundige en hydrologische situaties nog nauwelijks onderzocht. Volgens Van der Sluijs (1987) moet bij de schatting van de GHG en GLG op basis van deze methode rekening worden gehouden met een gemiddelde fout van 15 à 25 cm. Deze uitkomsten zijn gebaseerd op een onderzoek in slechts vier stambuizen.

In het onderhavige onderzoek is de betrouwbaarheid van deze methode voor schattingen van de GHG nader onderzocht. Hierbij hebben we de gemiddelde schattingfout

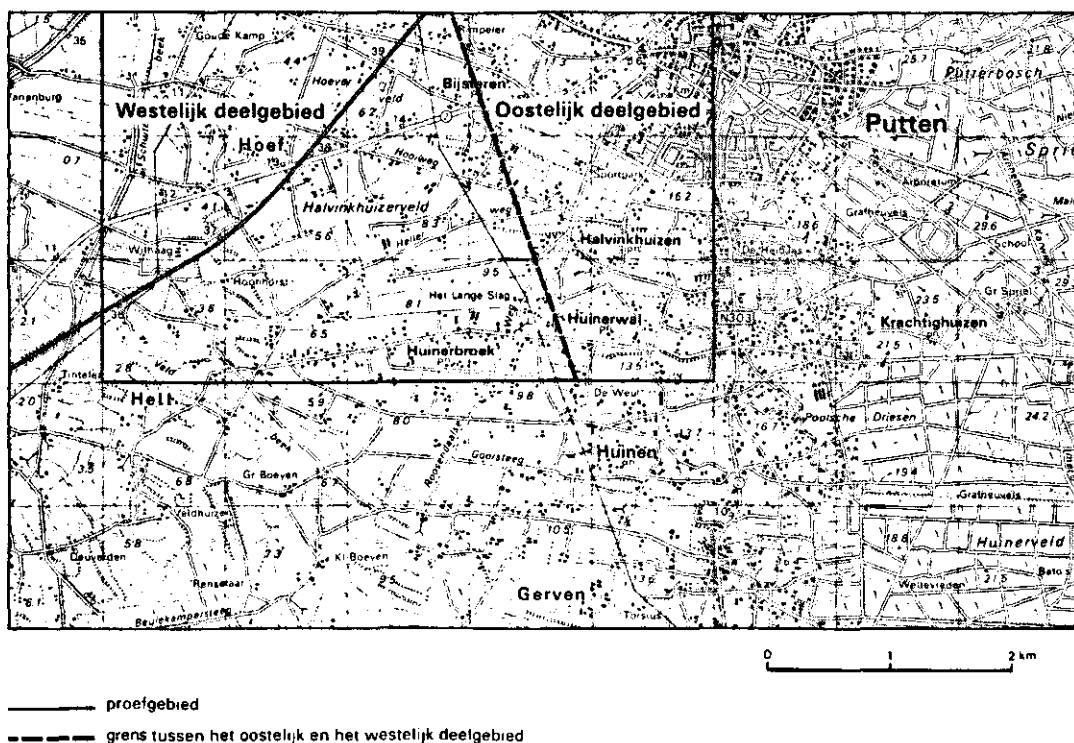
steeds uitgedrukt in de Root Mean Squared Error (RMSE). Deze is gedefinieerd als de wortel van het gemiddelde van de gekwadeerde verschillen tussen de geschatte en de werkelijke waarden. De schattingsfout bestaat uit een systematisch deel en een toevallig deel. Het systematische deel kan worden geëlimineerd door gebruik te maken van regressiemodellen. Daarom hebben we ook twee nieuwe methoden, waarin gebruik wordt gemaakt van lineaire regressiemodellen, onderzocht.

In hoofdstuk 3 worden de onderzochte methoden uiteengezet. In hoofdstuk 4 wordt de nauwkeurigheid van GHG-schattingen verkregen met de drie methoden behandeld. In hoofdstuk 5 wordt ingegaan op de vraag wanneer we moeten meten om de toevallige fout zo klein mogelijk te houden en hoe we de geschiktheid van een tijdstip voor het uitvoeren van een gerichte opname het beste kunnen beoordelen. In hoofdstuk 6 wordt ingegaan op de vraag of metingen van een gerichte opname op "GLG tijdstip" ook gebruikt kunnen worden voor het schatten van de GHG. De belangrijkste resultaten van het onderzoek hebben we in hoofdstuk 7 in een aantal conclusies samengevat.

## 2 BESCHRIJVING VAN HET STUDIEGEBIED EN DE VERZAMELDE GEGEVENS

De drie methoden zijn onderzocht in een studiegebied dat qua omvang overeenkomt met die van onderzoeksgebieden van veel inventarisatieprojecten (bijvoorbeeld land-inrichtingsprojecten). Dit is gedaan om het onderzoek zo goed mogelijk op de praktijk te laten aansluiten. Toetsing met stambuizen verspreid over geheel Nederland of een deel ervan valt hierdoor af. De keuze op een relatief klein studiegebied heeft als bijkomend voordeel, dat de verschillen in neerslagoverschot tussen punten gering zijn.

We kozen een gebied ten zuidwesten van Putten (Gld) met een oppervlakte van ca. 1400 ha, omdat hier relatief veel stambuizen (9 stuks) aanwezig zijn. Het is in bodemkundig en hydrologisch opzicht een gevarieerd gebied door de aanwezigheid van podzol-, beekerd-, gooreerd- en enkeerdgronden en van grondwatertrappen uiteenlopend van III tot VII\* (Steur en Heijink, 1987). De ondiepe ondergrond (tot 3 à 4 m beneden maaiveld) bestaat uit fluvioperiglaciaal zand behorend tot de Formatie van Twente zonder storende lagen (Rijks Geologische Dienst, 1975). Geohydrologisch is het proefgebied onder te verdelen in een westelijk en een oostelijk deel (fig. 1). In het westelijk deel bevindt zich op een diepte van 15 à 20 m de Eemformatie. Deze Formatie is slecht doorlatend. In het oostelijk deel ontbreekt die Formatie en is de ondergrond tot zeer grote diepte zeer goed doorlatend (Grootjans, 1984).



**Fig. 1** Ligging van het gebied

Negen stambuizen is nog te weinig om de in de inleiding genoemde onderzoeksvragen te kunnen beantwoorden. Daarom zijn in het proefgebied 64 buizen geplaatst, verspreid over de grondwatertrappen en verschillende bodemkundige en geohydrologische eenheden. In deze peilbuizen is de grondwaterstand gemeten bij uiteenlopende weersomstandigheden en grondwaterniveaus, op dertig tijdstippen in de periode van medio 1986 tot mei 1988. Gelijktijdig met de metingen op deze nieuwe meetpunten zijn ook de grondwaterstanden in de negen stambuizen waargenomen. Op basis van deze gegevens is de GHG en GLG van de 64 nieuwe meetpunten door middel van correlatie berekend (Van Heesen, 1971), waarbij de stambuizen L-73 en L-57 als referentiebuizen zijn gebruikt. Deze liggen respectievelijk in het (nattere) westelijk en het (drogere) oostelijk deel van het proefgebied. Om na te gaan hoe nauwkeurig de op deze wijze verkregen GHG- en GLG-schattingen van de zelfgeplaatste buizen (SCbuizen) zijn, zijn op dezelfde manier deze ook geschat van de resterende zeven stambuizen, waarvan de GHG en GLG bekend is. Uit dit vooronderzoek bleek dat deze correlatiemethode gemiddeld tot een goede schatting leidt en dat de gemiddelde fout, uitgedrukt in RMSE, 5 cm is. Op grond daarvan is aangenomen dat ook de GHG en GLG van de 64 SCbuizen met een grote mate van nauwkeurigheid zijn geschat en in dit onderzoek verder kunnen worden beschouwd als de "werkelijke" GHG en GLG.

### 3 ONDERZOCHE METHODEN VAN GERICHTE OPNAME

#### 3.1 De vigerende methode

De vigerende methode van de gerichte opname gaat uit van de aanname dat het grondwater niveau in alle gronden binnen een hydrologisch homogeen gebied zich gelijktijdig op het GHG-niveau bevindt. Voor de schatting van de GHG geldt dus het zeer eenvoudige basismodel: GHG = grondwaterstand

*Tabel 1 De gemeten grondwaterstanden van 9 stambuizen op 30 tijdstippen, alsmede de berekende GHG. De combinaties stambuis/meettijdstip die gebruikt zijn voor een simulatie van de gerichte opname zijn gemarkeerd met een !*

Meet-tijdstip	Nummer van de Stambuis:								
	L73	L42	L08	L5104	L5410	L13	L23	L57	L30
12-06-86	85	*	132	115	70	83	80	148	173
19-06-86	110	*	151	133	96	102	115	150	177
26-06-86	121	97	163	146	115	114	120	155	180
04-07-86	131	107	173	158	125	124	131	160	184
15-07-86	139	114	183	167	137	130	139	166	190
12-08-86	151	129	193	180	160	127	151	169	206
25-09-86	138	106	183	*	*	126	142	197	*
08-10-86	146	106	182	*	*	130	149	193	*
06-11-86	78	*	124	*	72	73	80	183	173
28-11-86	60	39!	75!	*	*	51!	45	184	167
24-02-87	63	45	85!	90	77	53	52	137	154
26-03-87	38!	27!	52	66!	45!	34!	19	115	135!
02-04-87	57!	39!	85!	84	68	52	42!	114	144
06-04-87	72	39!	93	87	71	66	60	121	152
10-04-87	59	44	88!	91	67	56	45	119	146
16-04-87	64	44	88!	91	70	60	47	117	150
24-04-87	78	54	104	100	90	72	64	121	156
29-04-87	91	63	118	111	104	83	77	126	159
11-05-87	102	*	137	117	112	93	90	134	*
26-06-87	100	76	142	101	82	92	88	*	147
20-08-87	62	*	*	*	*	57	59	*	*
24-12-87	52!	34!	59	78	58!	45!	33!	107!	*
07-01-88	29	6	22	57!	28	14	15	90	104
15-01-88	48!	32!	51	74	48!	42!	32!	94!	118!
08-03-88	44!	35!	56	74	62!	37!	30!	81	121!
30-03-88	40!	21!	40	64!	37	30	24!	68	110
05-04-88	63	46	72!	88	81	52	48	77	117!
13-04-88	72	53	89!	95	90	60	56	83	127!
11-05-88	102	75	138	116	*	83	86	105!	*
26-05-88	119	92	157	133	132	110	112	120	*
GHG	48	29	79	56	53	41	32	103	127

In de praktijk is het veelal niet mogelijk om op een tijdstip te meten waarop de grondwaterstand in de stambuis exact gelijk is aan de GHG. Het gemeten verschil tussen grondwaterstand en de GHG wordt dan meegenomen bij de schatting van de GHG, zodat het bovenstaande model overgaat in:  $GHG = \text{grondwaterstand} + c$  waarbij  $c$  het verschil is tussen de grondwaterstand op tijdstip  $t$  en de GHG  $\hat{c}$  in de stambuis. Om de methode van de gerichte opname zoals die in de praktijk wordt toegepast zo goed mogelijk te simuleren, zijn we ervan uitgegaan dat we de beschikking hebben over slechts één stambuis. Om dezelfde reden is de betrouwbaarheid van de methode geschat in situaties waarin het verschil tussen de grondwaterstand en de GHG maximaal 10 cm is.

In tabel 1 zijn met een ! achter de gemeten grondwaterstand die combinaties stambuis/meettijdstip gemarkeerd waarvoor een gerichte opname volgens de vigerende methode is gesimuleerd.

### 3.2 Regressiemethoden

In tegenstelling tot de vigerende methode, waarbij verondersteld wordt dat de relatie tussen de GHG en de grondwaterstand kan worden beschreven met het basismodel, wordt bij de regressiemethoden met metingen in meerdere buizen een model berekend d.m.v. regressieanalyse. Voor het opstellen van een regressiemodel zijn meerdere punten met bekende GHG nodig. Stambuizen komen hiervoor in principe het eerst in aanmerking omdat hiervan immers lange meetreeksen voorhanden zijn en de GHG middels de HG3-methode exact is te bepalen. Zoals reeds is opgemerkt, komt het in de praktijk zelden voor dat in een gebied met een oppervlakte van een landinrichtingsproject, meerdere stambuizen aanwezig zijn. Daarom hebben we ook een methode onderzocht waarin gebruik wordt gemaakt van zelfgeplaatste buizen (SCbuizen) met een relatief korte meetreeks. De regressiemethoden bieden de mogelijkheid om ook de invloed van andere variabelen te kwantificeren. In deze studie bleek de geohydrologische regio een belangrijke rol te spelen. Daarom is deze kwalitatieve variabele opgenomen in de modellen.

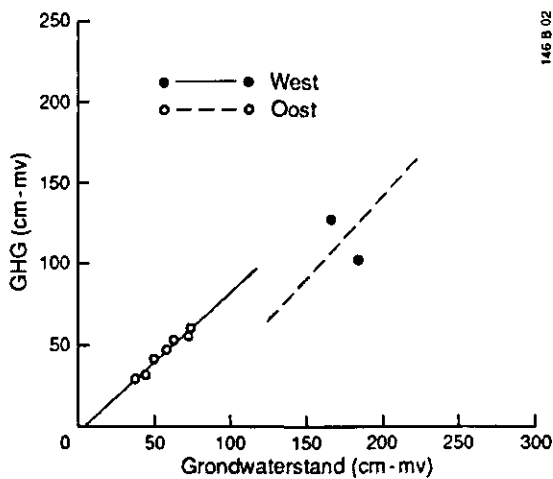
#### 3.2.1 De stambuis-regressiemethode

In dit proefgebied, hebben we de beschikking over negen stambuizen waarmee de samenhang tussen de GHG en de grondwaterstand op een bepaalde tijdstip kan worden vastgesteld. De meetgegevens op 28 november 1986 leiden tot de regressiemodellen weergegeven in figuur 2. De meetwaarden van de twee stambuizen in het oostelijk deelgebied suggereren een negatieve samenhang. Dit is niet realistisch. Voor deze situatie hebben we verondersteld dat de samenhang tussen de GHG en de grondwaterstand het best beschreven wordt door een lijn die midden tussen deze twee punten doorgaat en een hoek van  $45^\circ$  met de x-as maakt (= basismodel met een groot intercept). Er is dus op deze wijze per deelgebied een afzonderlijk regressiemodel gefor-

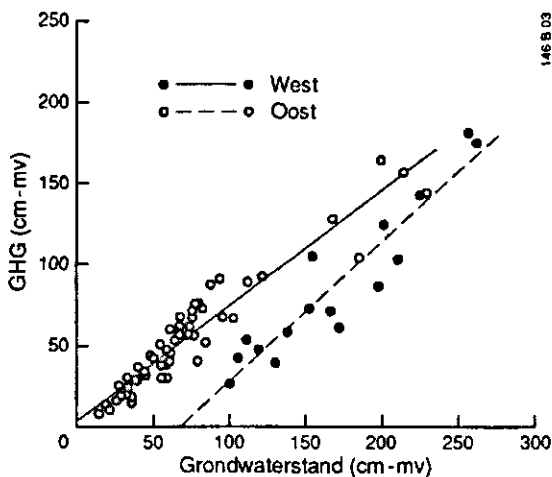


muleerd. Op basis van deze modellen zijn vervolgens de GHG-waarden van de 64 peilbuizen te schatten. Om de resultaten van de op deze wijze verkregen GHG-schattingen met die van de vigerende methode te vergelijken, is dit regressiemodel voor dezelfde (15) tijdstippen toegepast als voor de basismodellen.

Hoewel we hier in de (vrij unieke) situatie verkeren te beschikken over negen stambuizen, vertegenwoordigen deze slechts in beperkte mate de hydrologische situaties binnen het proefgebied. De verdeling van de stambuizen over de geohydrologische regio's is namelijk niet optimaal. In het oostelijk gebied komen slechts twee stambuizen voor, het absolute minimum voor het opstellen van een regressievergelijking. In het westelijk gebied komen meer stambuizen voor, maar deze zijn slecht verdeeld over de voorkomende grondwatertrappen. De GHG van de stambuizen varieert er van 25 tot 70 cm beneden maaiveld (fig. 2), terwijl die van alle peilbuizen (fig. 3) varieert van 10 tot 220 cm. Gebruiken we het regressiemodel voor het schatten van de GHG op punten met een grondwaterstand die veel dieper of ondieper is dan de droogste respectievelijk natste stambuis, dan kan dit tot grote afwijkingen leiden.



**Fig. 2** Samenhang tussen de GHG en de grondwaterstand op 28 november 1986 van de negen stambuizen

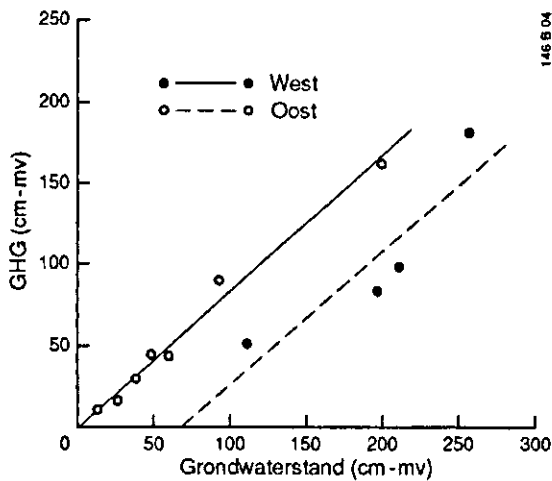


**Fig. 3** Samenhang tussen de GHG en de grondwaterstand op 28 november 1986, met daarin aangegeven de geohydrologische situering van de meetpunten

### 3.2.2 De SCbuis-regressiemethode

Een oplossing voor het hierboven genoemde probleem is zelf een aantal buizen te plaatsen, zodanig dat binnen de geohydrologische regio's het hele traject van extreem nat tot extreem droog wordt bestreken. Door in deze SCbuizen en in een stambuis op een aantal tijdstippen verspreid over het groeiseizoen de grondwaterstand te meten, kan vervolgens door correlatie met de stambuis de GHG van de SCbuizen worden geschat. We hebben deze methode uitgevoerd door uit de hiervoor genoemde 64 SCbuizen er 10 te selecteren zodanig dat de variatie in ontwateringstoestand en geohydrologie zo goed mogelijk vertegenwoordigd is. Zo is van deze 10 meetpunten de GHG door correlatie met stambuis L-42 berekend.

In figuur 4 zijn de op deze wijze verkregen GHG-waarden inclusief die van stambuis L-42 uitgezet tegen de grondwaterstand op 28 november 1986. Op basis van het bijbehorende regressiemodel is de GHG van de overige meetpunten (64 min 10) geschat. De hele procedure is herhaald door de 10 geselecteerde SCbuizen te correleren met elk der 8 resterende stambuizen afzonderlijk. De op deze wijze verkregen GHG-waarden per SCbuis op basis van de negen stambuizen zijn weergegeven in tabel 2.



**Fig. 4** Samenhang tussen de GHG en de grondwaterstand op 28 november 1986 van de tien SCbuizen + stambuis L-42

Voor de vergelijkbaarheid van de resultaten is alleen voor die combinaties van stambuis en meettijdspit waarvoor ook de vigerende methode is toegepast (tabel 1), de GHG geschat met een voor die combinatie geldend regressiemodel.

**Tabel 2** Geschatte GHG van de 10 geselecteerde SCbuizen in afhankelijkheid van de gebruikte stambuis. Dit levert dus voor elke SCbuis 9 schattingen op.

Stambuis	SCbuis									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
L73	88	9	103	42	181	55	90	46	164	16
L42	88	9	96	43	178	50	82	43	160	15
L08	86	7	95	41	176	49	81	41	159	13
L5104	86	6	101	40	180	53	87	48	164	14
L5410	88	9	101	41	178	54	88	45	164	14
L13	89	10	102	43	182	55	89	44	164	17
L23	90	11	103	44	183	56	90	48	165	18
L57	108	28	100	56	188	64	84	64	172	33
L30	89	11	92	44	179	51	78	48	161	17



## 4 SCHATTINGSNAUWKEURIGHEID

### 4.1 Vigerende methode

Zoals in 3.1 is aangegeven is voor 46 combinaties stambuis/meettijdstip een gerichte opname gesimuleerd. Per combinatie stambuis/meettijdstip is door toepassing van de vigerende methode voor alle 64 meetpunten de GHG geschat. De aldus verkregen GHG-schattingen per meetpunt zijn vergeleken met de werkelijke GHG. De afwijkingen t.o.v. de werkelijke GHG per simulatie (combinatie stambuis/meettijdstip) zijn uitgedrukt in de RMSE (tabel 3).

*Tabel 3 Gemiddelde fout (RMSE) in cm van GHG-schattingen met de vigerende methode. De gerichte opname is uitgevoerd op tijdstippen dat de grondwaterstand in de als referentiebuis gebruikte stambuis nagenoeg gelijk was aan de GHG. Per simulatie werd 1 stambuis als referentiebuis gebruikt.*

Meet- tijdstip	Gemiddelde fout									Gemid- deld
	L73	L42	L08	L5104	L5410	L13	L23	L57	L30	
28-11-86	*	42,9	52,5	*	*	42,9	*	*	*	46,1
24-02-87	*	*	18,5	*	*	*	*	*	*	18,5
26-03-87	7,6	10,1	*	20,3	7,5	7,7	*	*	18,4	11,9
02-04-87	5,4	5,1	7,0	*	*	*	5,1	*	*	5,7
06-04-87	*	16,1	*	*	*	*	*	*	*	16,1
10-04-87	*	*	10,6	*	*	*	*	*	*	10,6
16-04-87	*	*	9,8	*	*	*	*	*	*	9,8
24-12-87	5,1	5,6	*	*	5,6	5,1	5,0	5,1	*	5,3
07-01-88	*	*	*	24,5	*	*	*	*	*	24,5
15-01-88	6,8	8,4	*	*	6,8	7,2	6,8	9,1	9,1	7,7
08-03-88	11,7	19,0	*	*	21,7	11,7	12,9	*	10,8	14,7
30-03-88	16,6	16,6	*	29,8	*	*	16,6	*	*	19,9
05-04-88	*	*	20,0	*	*	*	*	*	22,4	21,2
13-04-88	*	*	10,6	*	*	*	*	*	25,6	18,1
11-05-88	*	*	*	*	*	*	*	57,2	*	57,2
Gemiddeld	8,9	15,5	18,4	24,9	10,4	14,9	9,3	23,8	17,3	15,2

Uit tabel 3 blijkt dat de RMSE sterk varieert. Verder valt op dat voor bijvoorbeeld meettijdstip 24-12-1987 de GHG nauwkeurig is geschat ongeacht welke stambuis als referentiebuis is gebruikt, terwijl voor meettijdstip 8-3-1988 het tegendeel geldt. Kennelijk is het meettijdstip van grote invloed op de schattingsnauwkeurigheid. Voor de gebruikte stambuis als referentiebuis lijkt dat minder het geval. Alleen voor stambuis L5104 is voor alle drie simulaties de schattingsnauwkeurigheid klein. De oorzaak hiervan ligt in het feit dat het grondwaterstandsverloop in deze buis sterk afwijkt van dat van de 64 peilbuizen. Dit leidt tot selectie van verkeerde tijdstippen voor een gerichte opname (7-1-1988), danwel tot een verkeerde correctie van de metingen in de 64 peilbuizen. Zo geldt voor de meting op 30-3-1988 dat op basis van stambuis

L5104 de grondwaterstandmetingen met 8 cm verminderd moeten worden om tot een GHG-schatting te komen, terwijl bij de andere stambuizen juist het omgekeerde het geval was.

De gemiddelde schattingsfout van 15,2 cm rechts onder in tabel 3 is het rekenkundig gemiddelde van alle 46 simulaties. Met name de grote variatie in schattingsfout maakt, dat deze methode niet erg geschikt is voor het schatten van de GHG.

De schattingsfout kan gesplitst worden in:

a. een systematisch deel, veroorzaakt door het feit dat de best passende lijn niet door de oorsprong gaat en/of geen hoek van  $45^{\circ}$  maakt met de x-as

b. een toevallig deel, doordat niet alle punten precies op een rechte lijn liggen.

Aan de onder a genoemde oorzaak kan worden tegemoet gekomen door niet uit te gaan van de vigerende methode maar van een regressiemodel (zie par 4.2 en 4.3).

De onder b genoemde oorzaak kan zoveel mogelijk worden uitgesloten door gerichte opnamen uit te voeren op tijdstippen dat er een zeer nauwe samenhang bestaat tussen de GHG en de grondwaterstand (zie hoofdstuk 5).

## 4.2 Regressiemethoden

### 4.2.1 Stambuis-regressiemethode

Voor de 15 geselecteerde meettijdstippen van tabel 1, is ook een gerichte opname gesimuleerd op basis van een regressiemodel waarvan de parameterwaarden zijn geschat met behulp van de negen stambuizen. De daarbij gemaakte schattingsfouten

*Tabel 4 Gemiddelde fout (RMSE) in cm van GHG-schattingen met van de stambuis-regressiemethode*

Meettijdstip	Gemiddelde fout
28-11-86	22,4
24-02-87	8,0
26-03-87	8,6
02-04-87	8,7
06-04-87	10,3
10-04-87	9,0
16-04-87	8,8
24-12-87	10,0
07-01-88	18,9
15-01-88	10,3
08-03-88	15,6
30-03-88	12,9
05-04-88	18,5
13-04-88	21,4
11-05-88	22,6

Gemiddelde RMSE 13,7

(RMSE) zijn weergegeven in tabel 4. Hieruit blijkt dat de grootte van de gemiddelde schattingfout is teruggebracht van 15,2 tot 13,7 cm. Met name de variatie van de RMSE is sterk gereduceerd. De kans op zeer grote misschattingen kan door gebruik te maken van het regressiemodel op basis van stambuizen dus aanzienlijk worden verkleind. Op vier tijdstippen n.l. 26-03-87, 02-04-87, 24-12-87 en 15-01-88 leidt de vigerende methode tot betere resultaten dan de Stambuis-regressiemethode. Op al deze tijdstippen is de RMSE verkregen met de vigerende methode erg laag. Dit betekent dat de werkelijke relatie tussen de grondwaterstand op deze tijdstippen en de GHG goed kan worden beschreven met het basismodel. Doordat het regressiemodel is gebaseerd op slechts een beperkt aantal punten en bovendien deze punten slecht gespreid liggen in het spreidingsdiagram, kan het voorkomen dat het regressiemodel in een aantal gevallen tot slechtere resultaten leidt.

De kans op het formuleren van een regressiemodel dat sterk afwijkt van de in de werkelijkheid bestaande relatie, kan worden verkleind door gebruik te maken van:

1. een groot aantal referentiebuizen;
2. een voor het onderzoeksgebied representatieve set referentiebuizen.

Zoals is opgemerkt wordt vrijwel nooit voldaan aan de onder 1 en 2 genoemde voorwaarden. Uit efficiëntie-overwegingen kan aan de onder 1 geformuleerde voorwaarde door het bijplaatsen van buizen ook maar zeer ten dele tegemoet worden gekomen. Met het bijplaatsen van buizen kan er echter wel voor gezorgd worden dat alle hydrologische situaties hierin in voldoende mate zijn vertegenwoordigd, zodat aan de onder 2 genoemde voorwaarde is voldaan.

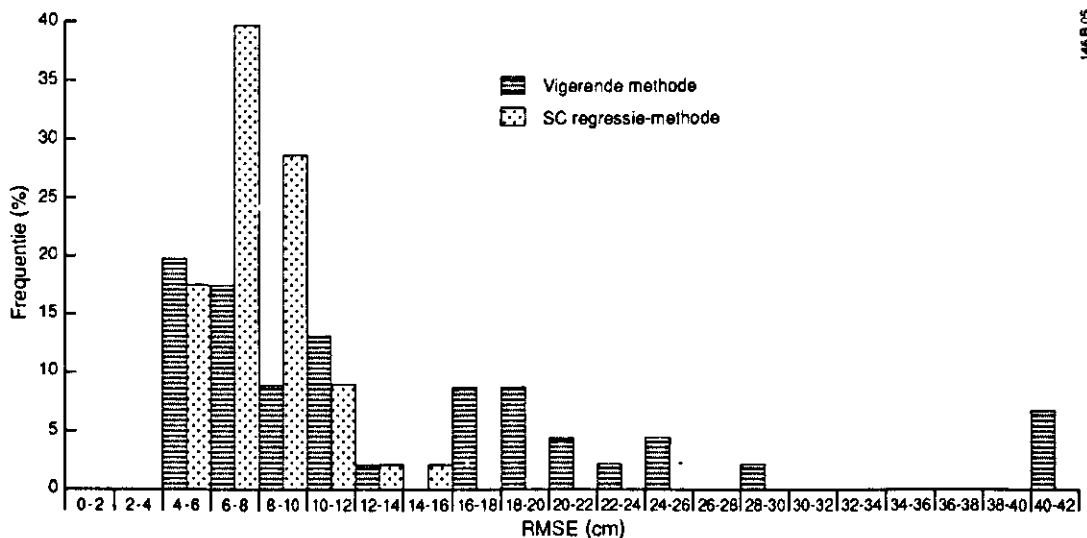
#### 4.2.2 SCbuis-regressiemethode

De door middel van lineaire regressie op basis van de tien SCbuizen en bijbehorende stambuis verkregen resultaten van de gesimuleerde gerichte opnamen, zijn weergegeven in tabel 5. Uit het gemiddelde van de RMSE over alle simulaties (7,8 cm) blijkt duidelijk dat deze aanpak zowel ten opzichte van de vigerende methode als ten opzichte van de stambuis-regressiemethode tot aanzienlijk betere resultaten leidt.

**Tabel 5 Gemiddelde fout (RMSE) in cm van GHG-schattingen met de SCbuis-regressiemethode**

Meet-tijdstip	Gemiddelde fout									Gemiddeld
	L73	L42	L08	L5104	L5410	L13	L23	L57	L30	
28-11-86	*	11,7	12,7	*	*1	1,9	*	*	*	12,1
24-02-87	*	*	6,6	*	*	*	*	*	*	6,6
26-03-87	6,5	6,9	*	7,3	6,5	6,5	*	*	6,4	6,7
02-04-87	6,2	6,2	7,3	*	*	*	6,2	*	*	6,5
06-04-87	*	8,2	*	*	*	*	*	*	*	8,2
10-04-87	*	*	7,1	*	*	*	*	*	*	7,1
16-04-87	*	*	5,6	*	*	*	*	*	*	5,6
24-12-87	5,6	5,7	*	*	5,5	5,6	5,5	5,4	*	5,6
07-01-88	*	*	*	10,3	*	*	*	*	*	10,3
15-01-88	6,3	6,3	*	*	6,6	6,0	6,3	6,2	6,6	6,3
08-03-88	8,1	8,1	*	*	8,7	8,1	8,1	*	8,1	8,2
30-03-88	9,3	9,4	*	9,5	*	*	9,4	*	*	9,4
05-04-88	*	*	8,7	*	*	*	*	*	8,9	8,8
13-04-88	*	*	11,0	*	*	*	*	*	11,0	11,0
11-05-88	*	*	*	*	*	*	*	14,9	*	14,9
Gemiddeld	7,0	7,8	8,4	9,0	6,8	7,6	7,1	8,8	8,2	7,8

Ook de variatie van de RMSE is verder afgenomen. In figuur 5 is de afname van de schattingsfout door toepassing van de SCbuis-regressiemethode in plaats van de vigerende methode duidelijk zichtbaar. Overduidelijk komt tot uiting dat met name zeer grote schattingsfouten op deze manier vermeden kunnen worden.



**Fig. 5 Frequentieverdeling RMSE bij toepassing van de vigerende methode resp. de SCregressie-methode**



## 5 DE GESCHIKTHEIDSBEOORDELING VAN TIJDSTIPPEN VOOR HET UITVOEREN VAN EEN GERICHTE OPNAME

### 5.1 Inleiding

Om op een bepaald tijdstip op basis van een grondwaterstandsmeting de GHG goed te kunnen schatten, moet er een nauwe samenhang bestaan tussen de GHG en de grondwaterstand op dat tijdstip. Dit betekent dat de spreiding van de punten rond de best passende lijn zo klein mogelijk moet zijn. Deze spreiding wordt uitgedrukt door middel van de restspreiding. Van de 30 tijdstippen kennen we de grootte van de restspreiding van het model gebaseerd op 64 meetpunten (tabel 6).

*Tabel 6 Regressie-parameters, de restspreiding en het percentage verklaarde variantie van de samenhang tussen de GHG enerzijds en de grondwaterstand op de 30 meettijdstippen en de geohydrologische ligging anderzijds*

Meettijdstip	Intercept		Richtingscoëff.		Restspreiding (cm)	Verklaarde variantie (%)
	west	oost	west	oost		
12-06-86	-34	-67	0,88	0,98	10,2	95
19-06-86	-65	-85	0,96	1,05	11,3	95
26-06-86	-77	-101	0,95	1,10	12,6	93
04-07-86	-84	-112	0,93	1,09	13,1	93
15-07-86	-85	-127	0,88	1,10	14,4	91
12-08-86	-79	-143	0,78	1,07	16,6	88
25-09-86	-44	-143	0,62	1,01	19,5	84
08-10-86	-50	-147	0,64	1,01	20,0	83
06-11-86	-12	-101	0,68	0,94	15,6	90
28-11-86	-1	-60	0,79	0,87	11,4	95
24-02-87	-8	-28	0,89	0,95	6,5	98
25-03-87	14	14	0,93	0,90	5,7	99
02-04-87	-13	-8	0,92	0,99	5,0	99
06-04-87	-24	-24	0,98	1,02	7,1	98
10-04-87	-8	-18	0,89	0,98	5,5	99
16-04-87	-14	-16	0,96	0,98	4,6	99
24-04-87	-37	-35	1,03	1,03	6,1	98
29-04-87	-60	-50	1,08	1,05	8,5	97
11-05-87	-65	-65	1,00	1,04	10,8	93
26-06-87	-24	-39	0,82	0,86	9,7	94
20-08-87	-8	-40	0,86	0,92	8,3	96
24-12-87	-2	-5	0,99	1,03	5,0	98
07-01-88	20	29	1,02	0,92	9,1	95
15-01-88	1	4	0,99	1,05	5,5	98
08-03-88	9	20	0,94	1,00	7,1	97
30-03-88	16	30	0,97	1,03	9,5	96
05-04-88	-20	1	0,08	1,09	5,6	98
13-04-88	-35	-19	0,09	1,16	9,0	97
11-05-88	-61	-46	0,98	1,02	12,4	91
26-05-88	-75	-70	0,95	1,07	14,7	91

De restspreiding van tabel 6 beschouwen we als de "werkelijke" restspreiding van alle punten in het gebied. We weten dus in welke mate deze tijdstippen geschikt zouden zijn geweest voor de uitvoering van een gerichte opname. We hebben nagegaan hoe (met welke criteria) de meest geschikte tijdstippen voor een gerichte opname gevonden kunnen worden (tabel 7).

*Tabel 7 Per onderzochte methode de criteria die gebruikt zijn (\*) om te beoordelen in welke mate een tijdstip geschikt is voor het uitvoeren van een gerichte opname*

Criteria	Onderzochte methoden		
	Vigerende	Stambuisregr.	SCbuisregr.
Absolute grondwaterstandsverschil t.o.v. de GHG	*	*	*
De modelrestspreiding		*	*

Gebleken is dat alleen de afstand van het grondwaterniveau tot de GHG van belang is, niet of het zich boven of onder de GHG bevindt. We hebben daarom het absolute grondwaterstandsverschil t.o.v. de GHG, aangeduid als  $|GHG-gws|$ , als beoordelingscriterium gebruikt. Bij de vigerende methode is dit het verschil in afstand tussen de GHG en de grondwaterstand in een enkele stambuis. Bij de regressiemethoden het gemiddelde van de absolute afstand van alle voor het regressiemodel gebruikte referentiebuizen gebruikt. Toepassing van de regressiemethoden leveren ook een restspreiding op. Het ligt voor de hand ook deze modelrestspreiding in de geschiktheidsbeoordeling te betrekken.

In de praktijk worden gerichte opnamen bij voorkeur uitgevoerd na een aantal dagen met een gering neerslagoverschot. Dit criterium, dat onafhankelijk is van de bij de gerichte opname toegepaste methode, wordt aan het slot van dit hoofdstuk kort besproken.

## 5.2 De vigerende methode

In figuur 6 is de samenhang tussen de "werkelijke" restspreiding en  $|GHG-gws|$  van stambuis L-73 weergegeven. Hoewel er sprake is van een zekere samenhang, geeft  $|GHG-gws|$  allermint een eenduidige indicatie over de grote van de "werkelijke" restspreiding en dus ook niet over de geschiktheid van een tijdstip voor een gerichte opname. Op tijdstippen met  $|GHG-gws|$  in de stambuis kleiner dan 10 cm komen nog vrij grote restspreidingen voor, terwijl op data met grotere grondwaterstandsverschillen t.o.v. GHG zelfs nog kleinere restspreidingen voorkomen.

In tabel 8 is voor alle 9 stambuizen de samenhang tussen de "werkelijke" restspreiding en het absolute verschil tussen grondwaterstand en GHG, uitgedrukt in het per-

centage verklaarde variantie, weergegeven.

**Tabel 8** Per stambuis de samenhang tussen de "werkelijke" restspreiding en |GHG-gws|

Stambuis	Verklaarde variantie in %  GHG-gws
L-73	71
L-42	75
L-08	70
L-5104	67
L-5410	59
L-13	68
L-23	74
L-57	65
L-30	64

Hieruit blijkt dat het percentage verklaarde variantie varieerd van ca 60 tot 75%. Bij de vigerende methode is |GHG-gws| dus slechts in beperkte mate bruikbaar om de geschikte data voor een gerichte opname te vinden.

### 5.3 Regressiemethoden

#### 5.3.1 De stambuis-regressiemethode

Bij deze methode hebben we de beschikking over meerdere, bij dit onderzoek 9, verschilwaarden grondwaterstand-GHG. We zijn nagegaan wat de relatie is van het gemiddelde absolute verschil met de "werkelijke" restspreiding. Uitgedrukt in de verklaarde variantie bleek dit 77% te zijn. De restspreiding die bij deze methode bij de regressieberekeningen voor de 30 meetdata werd verkregen, vertoonde merkwaardigerwijs geen enkele samenhang met de "werkelijke" restspreiding op die data. De stambuis-regressiemethode biedt dus nauwelijks betere mogelijkheden dan de vigerende methode om voor gerichte opnamen geschikte tijdstippen te selecteren.

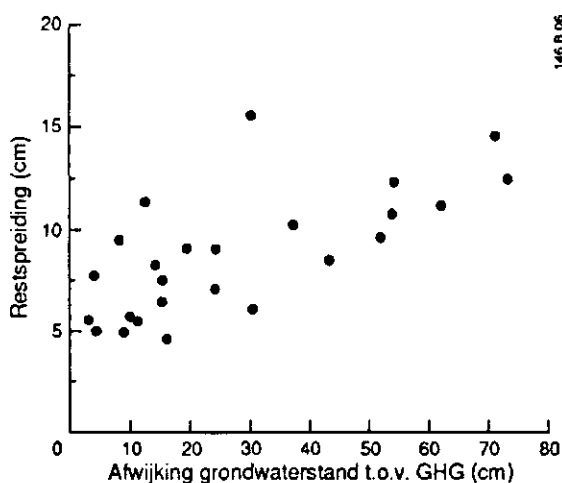
#### 5.3.2 De SCbuis-regressiemethode

Bij deze methode zijn er, afhankelijk van welke stambuis als basis heeft gediend (zie 3.2.2) per meetdatum verschillende waarden voor |GHG-gws| en restspreidingen van de regressiemodellen. In welke mate deze gegevens samenhangen met de "werkelijke" restspreiding is in tabel 9 samengevat.

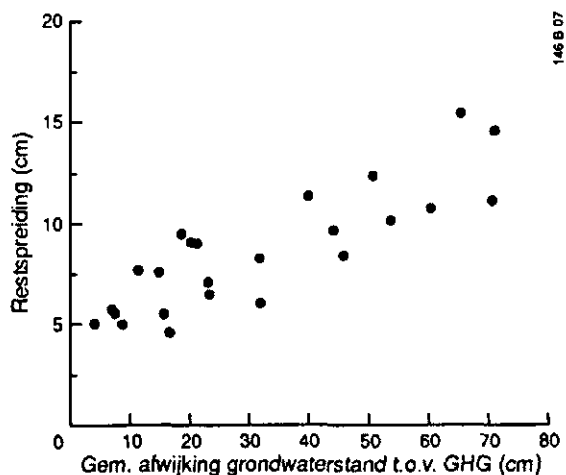
**Tabel 9** Per stambuis de samenhang tussen de "werkelijke" restspreiding en  $|GHG-gws|$ , de modelrestspreiding afzonderlijk en de combinatie van  $|GHG-gws|$  en modelrestspreiding

Stambuis	Verklaarde variantie in % $ GHG-gws $	modelrest.	$ GHG-gws /modelrest.$
L-73	85	45	90
L-42	83	51	88
L-08	83	9	92
L-5104	83	21	90
L-5410	85	45	89
L-13	84	52	90
L-23	85	48	92
L-57	87	61	89
L-30	84	38	84

Met behulp van  $|GHG-gws|$  kan bij de SCregressie-methode (ongeacht welke stambuis als basis heeft gediend) een tijdstip goed op zijn geschiktheid voor het uitvoeren van een gerichte opname beoordeeld worden. De samenhang tussen de restspreiding en het gemiddelde absolute grondwaterstandsverschil op de 30 meettijdstippen t.o.v. de GHG van stambuis L-73 en de 10 daaruit afgeleide referentiebuizen is weergegeven in figuur 7. In figuur 6 is deze samenhang ook weergegeven van deze stambuis, maar daar als afzonderlijke buis gebruikt als basis voor het vigerende model. Vergelijking van figuur 7 met figuur 6 laat zien dat de bruikbaarheid van een stambuis L-73 voor het selecteren van geschikte meettijdstippen sterk is toegenomen door op basis daarvan (ten behoeve van de SCregressie-methode) een aantal nieuwe referentiebuizen te creëren. Dit geldt ook voor de andere stambuizen zoals uit de tabellen 8 en 9 is af te leiden.

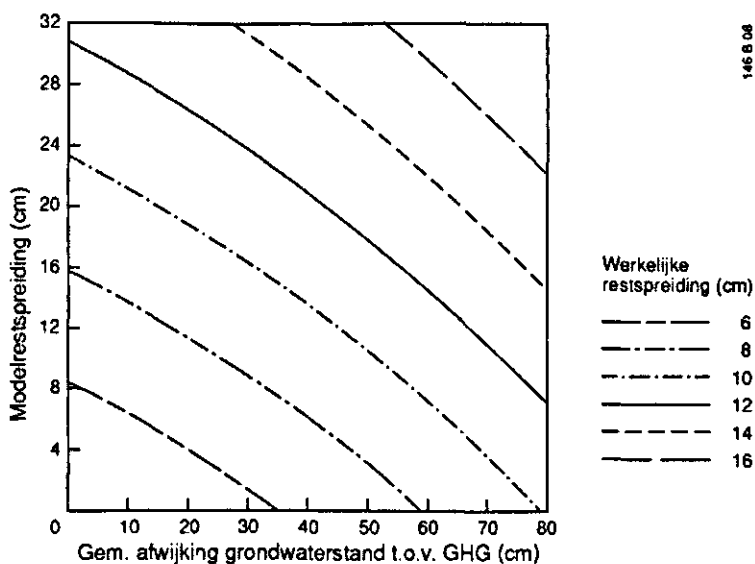


**Fig. 6** De samenhang tussen de werkelijke restspreiding en het absolute grondwaterstandsverschil op de 30 meettijdstippen t.o.v. de GHG van stambuis L-73



**Fig. 7** De samenhang tussen de werkelijke restspreiding en het gemiddelde absolute grondwaterstandsverschil op de 30 meettijdstippen t.o.v. de GHG van stambuis L-73 en de 10 daaruit afgeleide referentiebuizen

De samenhang van de modelrestspreiding met de "werkelijke" restspreiding is zeer gering (tabel 9). Hieruit kan de geschiktheid van een tijdstip voor het uitvoeren van een gerichte opname niet op een betrouwbare wijze worden afgeleid. Figuur 8 toont hoe de grootte van de "werkelijke" restspreiding samenhangt met de modelrestspreidingen en  $|GHG-gws|$ . Hieruit blijkt dat de modelrestspreiding in samenhang met

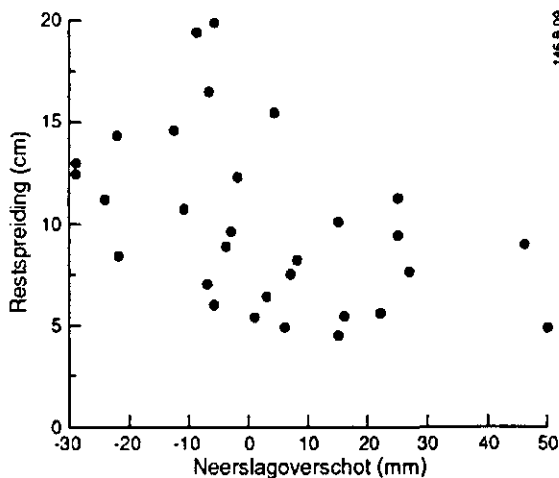


**Fig. 8** De samenhang tussen de "werkelijke" restspreiding enerzijds en het gemiddelde absolute grondwaterstandsverschil t.o.v. de GHG en de modelrestspreiding anderzijds

|GHG-gws| wel een duidelijke indicatie geeft over de te verwachten "werkelijke" restspreiding. Tijdstippen met een klein gemiddeld |GHG-gws| en een geringe model-restspreiding zijn over het algemeen zeer geschikt voor de uitvoering van een gerichte opname. Bij de interpretatie van figuur 8 moet echter rekening worden gehouden met het feit dat de werkelijke restspreiding nauwer is gecorreleerd met het absolute grondwaterstandsverschil (t-waarde=34) dan met de modelrestspreiding (t-waarde=5,9). Verder zijn de modelrestspreiding en het absolute grondwaterstandsverschil uiteraard enigszins aan elkaar gecorreleerd. De SCbuis-regressiemethode biedt de mogelijkheid met een grote mate van zekerheid een geschikt meettijdstip te vinden.

#### 5.4 Het neerslagoverschot

Zoals in 5.1 al is aangegeven worden gerichte metingen bij voorkeur uitgevoerd op een tijdstip die voorafgegaan is door een aantal dagen zonder of met geringe neerslag. Figuur 9 laat zien dat de hoeveelheid neerslag in de periode (hier 1 week) voorafgaande aan de meting nauwelijks van invloed is op de grootte van de "werkelijke" restspreiding. Het is zelfs zo dat voor zover er sprake is van samenhang deze tegengesteld is. Dit is het gevolg van het feit dat metingen met een geringe neerslag min of meer gekoppeld zijn aan een diep grondwaterniveau, dus met een groot grondwaterstandsverschil t.o.v. de GHG. Rekening houdend met dit verschil, is er wel een positieve samenhang tussen de "werkelijke" restspreiding en het neerslagoverschot. Uit regressie-analyse blijkt dat deze samenhang nauwelijks significant is met een t-waarde van 2,9 t.o.v. een t-waarde van het absolute verschil van 12,0. De grootte van het neerslagoverschot voorafgaande aan een gerichte meting is dus slechts van geringe invloed op de schattingsnauwkeurigheid.



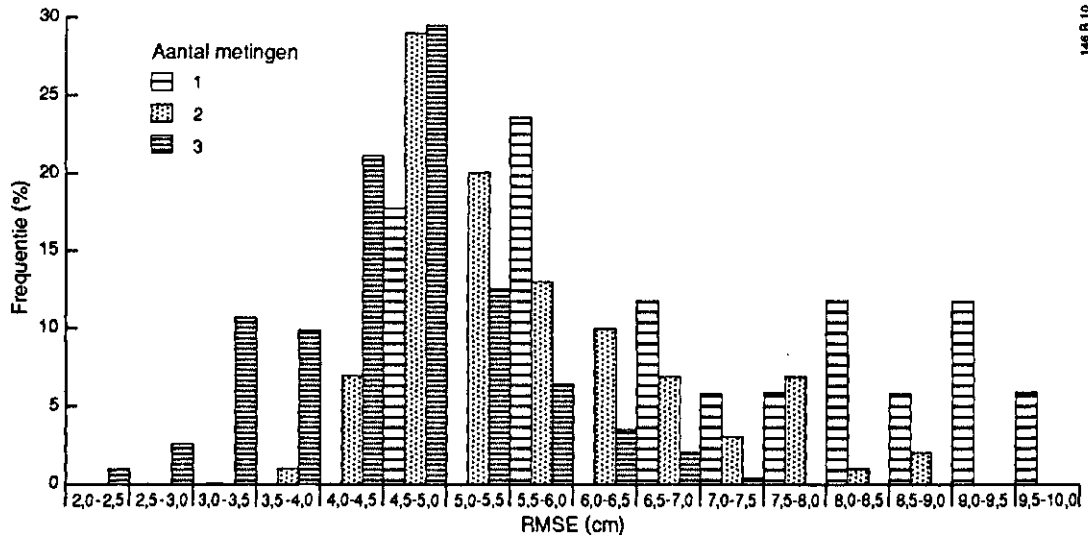
**Fig. 9** De samenhang tussen de "werkelijke" restspreiding en het cumulatief neerslagoverschot in de week voorafgaande aan meting op de 30 meetdata

## 6 METEN OP MEER DAN EEN TIJDSTIP

Behalve de gerichte opname in de winter voor het schatten van de GHG, wordt in de praktijk in de zomer of de herfst een tweede gerichte opname uitgevoerd om de GLG te schatten. Onderzocht is of de schattingsnauwkeurigheid van de GHG kan worden vergroot door ook deze meting op "GLG-tijdstip" in het model op te nemen. Wij hebben dit onderzocht door de 10 tijdstippen met de gemiddeld ondiepste grondwaterstand te combineren met de 10 tijdstippen met de gemiddeld diepste grondwaterstand, zodanig dat elke "ondiepe" tijdstip werd gecombineerd met elke "diepe" tijdstip. Dat levert dus in totaal 100 combinaties van een diepe en ondiepe grondwaterstand plus geohydrologische ligging als voorspellende variabelen van de GHG op.

Het resultaat van deze 100 regressieberekeningen is een gemiddelde restspreiding van 5,6 cm. Dat betekent dat het in principe mogelijk is de GHG aanzienlijk nauwkeuriger te schatten door behalve een ondiepe, ook een diepe grondwaterstand in het regressiemodel op te nemen. Bovendien wordt met name de kans op grote schattingsfouten veel kleiner. Dit kan dus bereikt worden zonder vaker te meten, maar door de verzamelde gegevens anders te verwerken. Voorwaarde is wel dat de metingen beide keren op exact hetzelfde punt worden uitgevoerd. Het vastleggen van de observatiepunten zal wellicht extra inspanning vergen .

Deze extra inspanning kan nog verder worden uitgebuit door op die plaatsen een derde meting uit te voeren bij een grondwaterniveau ongeveer halverwege het GHG- en GLG-niveau. Gebleken is namelijk dat slechts met deze ene meting extra, de nauwkeurigheid van zowel de GHG- als de GLG-schatting aanzienlijk kan worden vergroot. De gemiddelde restspreiding op basis van drie metingen bedraagt voor de GHG slechts 4,5 cm. Hoe de grootte van de restspreiding ten opzichte van regressieberekeningen op basis van 1 resp. 2 metingen verbetert, komt goed tot uiting in de frequentieverdelingen in figuur 10. Voor de juiste interpretatie moet hierbij worden opgemerkt dat deze voor de situatie met 1 meting gebaseerd is op slechts 17 regressieberekeningen, terwijl dit er bij de situatie met 3 metingen 1000 zijn. Niettemin is duidelijk, dat de kans op slechte schattingsresultaten bij drie metingen minimaal is en de kans op nauwkeurige schattingen sterk wordt vergroot.



**Fig. 10 Frequentieverdeling restspreiding bij toepassing van 1, 2 of 3 metingen**



## 7 CONCLUSIES

1. De nauwkeurigheid van de GHG-schattingen met behulp van de vigerende methode is sterk afhankelijk van de keuze van het meettijdstip en de gebruikte referentie-buis. De gemiddelde fout (RMSE) varieert van 5,0 tot 57,2 cm.
2. De GHG-schattingen verkregen door toepassing van de SCbuis-regressiemethode zijn veel nauwkeuriger dan die met de vigerende methode.
3. Het absolute verschil tussen grondwaterstand en GHG op het tijdstip van de meting bepaalt in sterke mate de schattingsnauwkeurigheid.
4. Toepassing van de vigerende methode biedt slechts in beperkte mate de mogelijkheid een geschikt tijdstip voor een gerichte opname te vinden. De SCregressiemethode leidt vrijwel eenduidig tot het meest geschikte tijdstip.
5. De grootte van het neerslagoverschot vlak voor een meting is nauwelijks van invloed op de schattingsnauwkeurigheid.
6. De schattingsnauwkeurigheid van de GHG kan worden vergroot door zowel een meting op GHG-niveau als op GLG-niveau in de regressieberekeningen te betrekken. Door er nog een meting op het niveau tussen de GHG en GLG aan toe te voegen kan zowel de GHG als de GLG met een grote mate van nauwkeurigheid worden geschat.



## 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 grondwaterstandsverloop op bodemkaarten*. Boor en Spade 17: 127-149.

RIJKS GEOLOGISCHE DIENST, 1975. *Toelichting bij geologische overzichtskaarten van Nederland*. Rijks Geologische Dienst, Haarlem.

SLUIJS, P. VAN DER, 1982. *De grondwatertrap als karakteristiek voor het grondwaterstandsverloop*. H2O. Tijdschrift voor Watervoorziening en Afvalwaterbehandeling 15(3): 42-46.

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*. Stichting voor Bodemkartering, Wageningen.

SLUIJS, P. VAN DER en H.C. VAN HEESEN, 1989. *Veranderingen in de berekening van de GHG en de GLG*. Landinrichting 29(1): 18-21.

STEUR, G.G.L. en W. HEIJINK, 1987. *Bodemkaart van Nederland, schaal 1 : 50 000. Algemene begrippen en indelingen*. 3e herziene uitgave. Stichting voor Bodemkartering, Wageningen.