



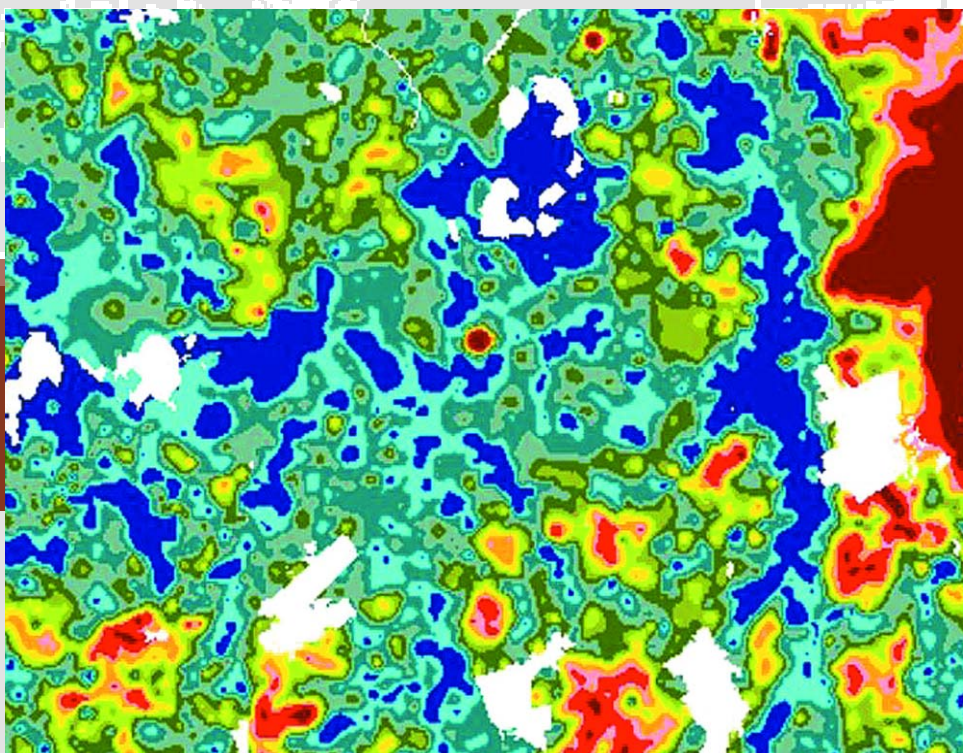
ALTERRA

WAGENINGEN UR

Validatie van kaarten van de grondwaterdynamiek in de Graafschap

Vergroten aanvullende metingen de kwaliteit van de kaart?

T. Hoogland
M. Pleijter
D.J. Brus



Alterra-rapport 1426, ISSN 1566-7197



Validatie van kaarten van de grondwaterdynamiek in de Graafschap

Validatie van kaarten van de grondwaterdynamiek in de Graafschap

Vergroten aanvullende metingen de kwaliteit van de kaart?

T. Hoogland
M. Pleijter
D.J. Brus

Alterra-rapport 1426

Alterra, Wageningen, 2007

REFERAAT

Hoogland, T., M. Pleijter & D.J. Brus, 2007. *Validatie van kaarten van de grondwaterdynamiek in de Graafschap; Vergroten aanvullende metingen de kwaliteit van de kaart?* Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 1426. 32 blz. ; 3 fig.; 11 tab.; 12 ref.

Onderzocht is hoe groot de nauwkeurigheid is van regionale Gd-kaarten van de Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand en Gemiddeld Laagste Grondwaterstand is en of de kwaliteit kan worden verbeterd door waterstanden in meer boorgaten te meten. Hiervoor is de kwaliteit van een oude en een nieuwe Gd-kaart in het waterschap Rijn en IJssel onderzocht. Bij de nieuwe Gd-kaart zijn extra gerichte opnamepunten gebruikt om de GxG te gebiedsdekkend te schatten. Geconcludeerd wordt dat de oude kaart nauwkeuriger is dan de nieuwe maar dat het meten van grondwaterstanden op extra locaties wel leidt tot betere schattingen van het ruimtelijk GxG patroon. Het gebruik van de stambuizenset heeft een zeer grote invloed op de nauwkeurigheid van de gemaakte kaart en overschaduwde de betere weergave van het ruimtelijk patroon als gevolg van extra waarnemingen.

Trefwoorden: grondwatertrap, grondwaterstandkarakteristieken, grondwaterstandverloop, kanssteekproef, kwaliteit, nauwkeurigheid, upgrading, zuiverheid

ISSN 1566-7197

Dit rapport is digitaal beschikbaar via www.alterra.wur.nl. Een gedrukte versie van dit rapport, evenals van alle andere Alterra-rapporten, kunt u verkrijgen bij Uitgeverij Cereales te Wageningen (0317 46 66 66). Voor informatie over voorwaarden, prijzen en snelste bestelwijze zie www.boomblad.nl/rapportenservice.

© 2006 Alterra

Postbus 47; 6700 AA Wageningen; Nederland

Tel.: (0317) 474700; fax: (0317) 419000; e-mail: info.alterra@wur.nl

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

Alterra aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Inhoud

Woord vooraf	7
Samenvatting	9
1 Inleiding	11
1.1 Achtergrond	11
1.2 Gd-kartering	11
1.3 Doel van het onderzoek	12
2 Gd-kaarten en validatiegegevens	13
2.1 Ligging van het onderzoekgebied	13
2.2 Gd-kaarten	13
2.3 Opnamelocaties	14
2.4 De stambuizensets	15
2.5 GxG schattingen met stambuisregressie	15
2.6 Maaiveldregressie	16
3 Methode voor bepaling van de kwaliteit van de kaarten	19
3.1 Kanssteekproef	19
3.2 Kwaliteitsmaten	19
3.2.1 Zuiverheid	19
3.2.2 Nauwkeurigheid	20
3.3 Bepaling van de fout in de geschatte GHG en GLG op de validatiepunten	21
3.3.1 De werkelijke GXG op de validatiepunten	22
3.3.2 De geschatte GHG en GLG op de validatiepunten	22
4 Resultaten	23
4.1 Zuiverheid	23
4.2 Nauwkeurigheid	24
5 Verklaringen voor gevonden verschillen	27
5.1 Effect van extra gerichte opnamepunten op de nauwkeurigheid	27
5.2 Het effect van stambuisregressie en gebiedsdekkende hulpinformatie	28
6 Conclusies	29
Literatuur	31

Woord vooraf

Het rapport dat voor u ligt is een aanvulling op het Alterra-rapport 736 van Pleijter et al. (2003). In het kader van de actualisatie van de grondwatertrappenkaarten van de zandgebieden, zijn in 2003 aanvullende grondwaterstandmetingen gedaan. Deze metingen zijn samen met de metingen van de eerdere kartering gebruikt om een nieuwe Gd-kaart te vervaardigen. De begeleidingscommissie van het LNV-programma 395 heeft in 2004 aan Alterra gevraagd om de kwaliteit van deze nieuwe Gd-kaart te beoordelen.

De oude kaart van de grondwaterdynamiek (Hoogland et al., 2003) en de nieuwe Gd-kaart (Kekem et al., 2005) worden in deze studie beoordeeld op zuiverheid en nauwkeurigheid. Daarnaast wordt onderzocht of het toevoegen van extra waarnemingen voor de nieuwe kaart geleid heeft tot een betere kaart.

Samenvatting

Sinds enige jaren worden door Alterra met regressie-modellen en geostatistische interpolatie technieken kaarten gemaakt van het grondwaterstandsverloop. Het gaat hierbij om de kartering van grote gebieden, vaak hele waterschappen. Het veldwerk is in vergelijking met de kartering van grondwatertrappen in het veld beperkt. De kwaliteit van de oude Gd-kaart voor waterschap Rijn en IJssel en de nieuwe Gd-kaart t.b.v. van de uitspoelingsgevoelige gronden zijn in deze studie beoordeeld. Ook is onderzocht of de kwaliteit van deze nieuwe kaarten van de Grondwaterdynamiek (Gd), toeneemt als er extra waarnemingen worden gebruikt. Om dit te onderzoeken is in een deel van het waterschap Rijn en IJssel (omgeving Vorden, Wichmond) de kwaliteit van Gd-kaarten beoordeeld. De kwaliteit van de kaarten is bepaald in termen van de *zuiverheid* van de kaarten, en de *nauwkeurigheid* van schattingen van de GHG en GLG op punten voor zowel de oude als nieuwe Gd-kaarten. De zuiverheid van een kaart met betrekking tot de Gt geeft het percentage aan van het oppervlak van het gekarteerde gebied waarvan de Gt goed is weergegeven. Bij het bepalen van de nauwkeurigheid is onderscheid gemaakt tussen een systematische fout (gemiddelde fout) en een toevallige fout (fout tengevolge van onverkleerde ruimtelijke variatie).

De zuiverheid en nauwkeurigheid van de kaarten zijn geschat met een gestratificeerde aselecte steekproef van 99 punten. Op deze validatiepunten is twee keer de grondwaterstand gemeten, één keer in april en één keer in oktober 2002. Deze grondwaterstandsmetingen zijn gebruikt om de GHG en GLG op deze validatiepunten te voorspellen. Dit is gedaan met een regressiemodel voor de GHG en GLG met als verklarende variabelen de gemeten grondwaterstanden.

De nieuwe Gd-kaart waarbij ondermeer extra gerichte opnamepunten zijn gebruikt levert geen verbetering noch een verslechtering op ten aanzien van de zuiverheid in vergelijking met de oude Gd-kaart. De geconstateerde verschillen in kaartzuiverheid voor GHG, GLG en Gt zijn geen van allen significant.

De GHG op de nieuwe Gd-kaart is systematisch te nat (-14,8 cm), en de GLG systematisch te droog (20,9 cm). De oude Gd-kaart heeft een minder grote systematische fout voor zowel GHG (4,1 cm) als GLG (13,6 cm).

De oude GHG kaart heeft een significant kleinere gekwadraterde fout (*mse*) dan de nieuwe GHG kaart. Voor de GLG kaart is het precies omgekeerd; daar heeft de nieuwe GLG kaart een significant kleinere *mse* dan de oude. Gezien de grotere systematische fout van de nieuwe Gd-kaart wordt kleinere *mse* waarschijnlijk veroorzaakt door een betere weergave van het ruimtelijk patroon.

Het verschil tussen de oude en nieuwe Gd-kaarten is behalve extra gerichte opnamen ook gelegen in een andere stambuisregressie. Om de invloed van de toevoegen van extra waarnemingen inzichtelijk te maken is met de nieuwe stambuisregressie een

extra Gd-kaart gemaakt met behulp van alleen de waarnemingslocaties van de oude kaart. Daardoor zijn drie Gd-kaarten beschikbaar; oude de Gd-kaart van Hoogland et al. (2003) met waarnemingen uit 1998, de nieuwe Gd-kaart (Van Kekem et al., 2005) met waarnemingen uit 1998 en 2004, en een extra Gd-kaart met alleen waarnemingen uit 1998 maar met de nieuwe stambuisregressie.

De hogere waarnemingsdichtheid in de nieuwe Gd-kaart heeft niet geleid tot een hogere nauwkeurigheid maar wel tot een betere weergave van het ruimtelijk patroon. Veranderingen in de stambuisregressie en de gebruikte hulpinformatie samen zorgen voor systematische fouten en gekwadrateerde fouten die veelal dermate groot dat ze de verbeterde weergave van het ruimtelijk patroon als gevolg van meer waarnemingslocaties overschaduwden.

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

Alterra en haar voorlopers maakt sinds een aantal decennia kaarten waarop het grondwaterstandverloop gedurende een seizoen staat afgebeeld. De grondwatertrap geeft informatie over de diepte van de Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand (GHG) en de Gemiddeld Laagste Grondwaterstand (GLG), ten opzichte van maaiveld (in klassen). De door de Stichting voor Bodemkartering ontwikkelde methode voor het vastleggen van het grondwaterstandverloop is voornamelijk gebaseerd op veldwaarnemingen.

In verband met de toegenomen kosten van arbeid en om een opdrachtgever sneller van een actuele grondwaterkaart van een relatief groot gebied (bijv. een waterschap) te kunnen voorzien heeft Alterra een methode ontwikkeld waarbij het veldwerkaandeel sterk is verminderd. In deze methode wordt gebruik gemaakt van (geo)statistische modellen voor de grondwaterstandkarakteristieken. Met deze methode kunnen behalve de GHG en GLG ook andere parameters die de *grondwaterdynamiek* beschrijven in kaart worden gebracht. In verband hiermee wordt deze methode ook wel aangeduid met de Gd-methode (Gd van grondwaterdynamiek).

In 1998 heeft Alterra in opdracht van het Waterschap Rijn en IJssel de grondwaterdynamiek in kaart gebracht. Deze kaart is in 2003 voor een relatief klein deelgebied van 936 ha gevalideerd door Alterra (Pleijter et al., 2003). Het ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Voedselveiligheid (LNV) heeft in 2000 opdracht gegeven de grondwatertrappenkaarten van landbouwkundig gebruikte zandgronden te actualiseren met behulp van de Gd-methode. Deze kaarten zijn in 2005 gereed gekomen. Omdat de waarnemingsdichtheid van de kaarten voor LNV hoger is dan die voor het Waterschap Rijn en IJssel zijn in het gebied van Waterschap Rijn en IJssel aanvullende metingen gedaan.

1.2 Gd-kartering

Bij een Gd-kartering wordt gebruik gemaakt van statische modellen. De methode maakt gebruik van een bestaand meetnet van grondwaterstandbuizen met een lange meetreeks (stambuizen) waarvoor een klimaatrepresentatieve GXG wordt berekend. Tevens wordt de grondwaterstand twee keer op een beperkt aantal lokaties gemeten (gerichte opnamepunten). De relatie tussen de grondwaterstand op de dag van de gerichte opname en de GXG wordt gebruikt voor het voorspellen van de GXG op de gerichte opnamepunten. De dichtheid van deze gerichte opnamen is ongeveer 1 waarneming per 110 ha. Dit sterk verdichte net van voorspelde GXG's wordt vervolgens met kriging, gebruikmakend van ruimtelijke hulpinformatie, geïnterpoleerd naar een fijnmazig grid (25 m bij 25 m). In deze methode wordt de

ruimtelijke trend beschreven met regressiemodellen met als verklarende variabelen de absolute en relatieve maaiveldhoogte (afgeleid van het AHN) en andere vlakdekkende hulpinformatie, zoals slootdichtheid, drooglegging, e.d. Hiervoor wordt het gebied eerst ingedeeld in strata, waarbij verondersteld wordt dat een stratum een min of meer homogeen hydrologisch gebied is met een unieke regressie-vergelijking. Per stratum wordt een regressiemodel geschat en toegepast voor de gebiedsdekkende voorspelling van GxG.

De volgens deze methode vervaardigde kaarten worden bij Alterra kortweg aangeduid met Gd-kaarten (*Gd van grondwaterdynamiek*). In feite gaat het om een set van kaarten, een GHG-kaart, GLG-kaart, Gt-kaart, kaarten van regimecurves en kaarten van duurlijnen. In het rapport wordt onderscheid gemaakt in de oude Gd-kaarten en nieuwe Gd-kaarten. De oude Gd-kaarten zijn afkomstig van de kartering van Hoogland et al. (2003) in opdracht van waterschap Rijn en IJssel en de nieuwe Gd-kaarten (Van Kekem et al., 2005) zijn van de kartering uit 2005 in opdracht van het ministerie van LNV.

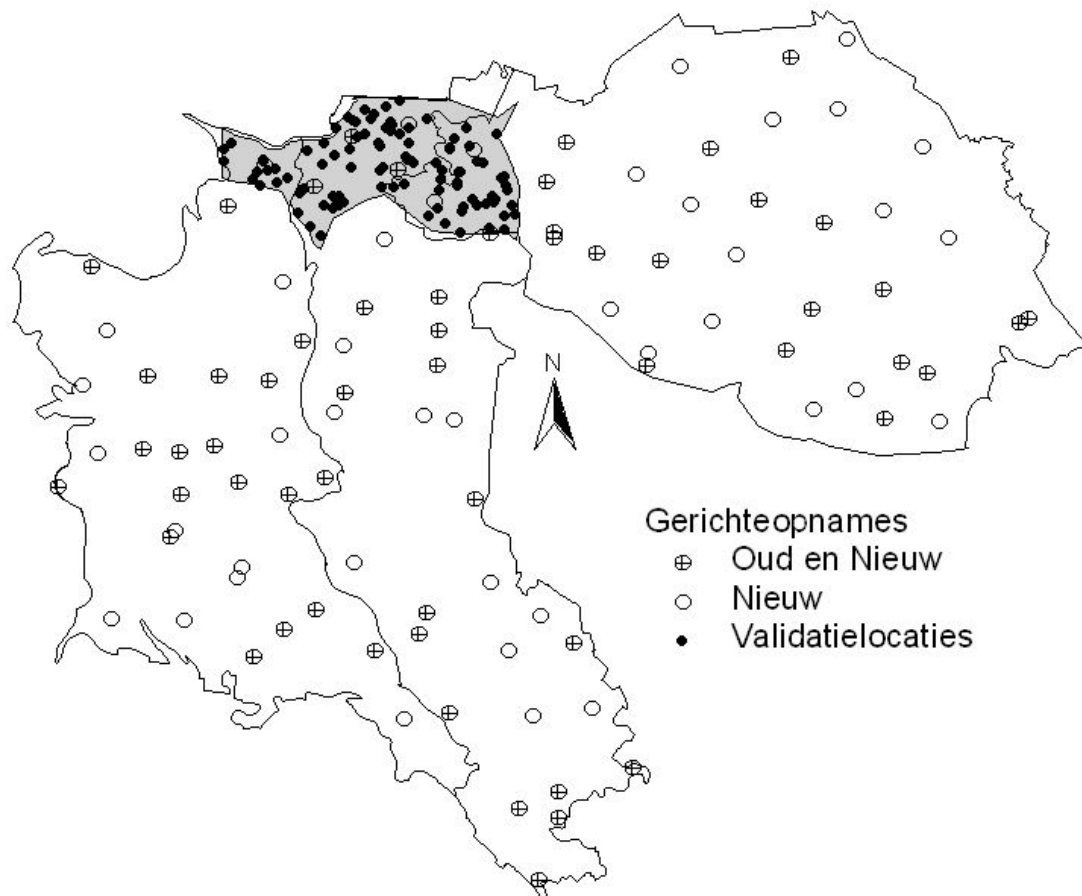
1.3 Doel van het onderzoek

Doel van dit onderzoek is het vergelijken van de kwaliteit (in termen van zuiverheid en nauwkeurigheid) van de beide Gd-kaarten in een proefgebied. Ook is onderzocht of de kwaliteit van de nieuwe Gd-kaarten is verbeterd als gevolg van alleen de hogere waarnemingsdichtheid door extra gerichte opnamelocaties.

2 Gd-kaarten en validatiegegevens

2.1 Ligging van het onderzoekgebied

Het validatiegebied ligt in het waterschap Rijn en IJssel, tussen Vorden en Wichmond en is in grijs weergegeven in figuur 1. Het gebied heeft een oppervlakte van 936 ha en ligt grotendeels in het Pleistocene zandgebied. Het westelijke gedeelte van het gebied, globaal gelegen tussen de IJssel en Wichmond, bestaat uit kleiige rivierafzettingen. In het validatiegebied zijn met een kanssteekproef 100 validatielocaties geselecteerd die zijn weergegeven als zwarte puntjes in figuur 1.



Figuur 1. De verschillende categorieën opnamelocaties in de drie strata die overlappen met het grijze validatiegebied.

2.2 Gd-kaarten

In deze studie worden twee bestaande Gd-kaarten op kwaliteit beoordeeld; de oude Gd-kaart van Hoogland et al., (2003) en de nieuwe Gd-kaart van Van Kekem et al., (2005). Bij het vervaardigen van de nieuwe Gd-kaart zijn een aantal zaken met betrekking tot de gebruikte gegevens veranderd t.o.v. de oude kaart.

De opnames ten behoeve van de eerste Gd-kartering zijn verricht in 1998 en de aanvullende metingen voor de nieuwe Gd-kaart zijn verricht in 2004 (Van Kekem et al., 2005). Het verschil tussen de oude en nieuwe Gd-kaarten is naast de extra gerichte opnamen ook gelegen in een andere stambuisregressie en aantal andere factoren.

Om te onderzoeken of alleen het vergroten van de waarnemingsdichtheid tot een beter Gd-kaart leidt is t.b.v. deze studie een extra Gd-kaart gemaakt. Deze extra Gd-kaart is gemaakt met de nieuwe stambuisregressie maar alleen met de waarnemingslocaties van de oude kaart. Het effect van alleen de waarnemingsdichtheid op de kwaliteit van de Gd-kaart wordt in hoofdstuk 5 besproken. Voor vergelijking in deze studie zijn drie Gd-kaarten beschikbaar:

- de oude Gd-kaart van Hoogland et al. (2003) met waarnemingen uit 1998,
- de nieuwe Gd-kaart (Van Kekem et al., 2005) met de waarnemingen uit zowel 1998 en 2004,
- een extra Gd-kaart met alleen waarnemingen uit 1998 maar met de nieuwe stambuisregressie.

De oude Gd-kaart is vervaardigd op basis van de meetlocaties aangeduid met + en met stambuisregressie-A. (zie figuur 1). De nieuwe Gd-kaart is vervaardigd op basis van de meetlocaties aangeduid met + en O en met stambuisregressie-B. De extra Gd-kaart die in deze studie is vervaardigd om het effect van alleen waarnemingsdichtheid op de kwaliteit te onderzoeken is vervaardigd met alleen de oude meetlocaties aangeduid met + maar met de nieuwe stambuisregressie-B.

2.3 Opnamelocaties

Voor de oude Gd-kaart zijn in het gehele waterschap 909 gerichte opnamepunten gebruikt. Om voor de nieuwe Gd-kaart landsdekkende tot uniforme dichtheid van ca. 1 punt per 110 ha voor de nieuwe Gd-kaart te komen zijn in 2004 op 542 locaties aanvullende metingen gedaan waardoor 1451 gerichte opnamen beschikbaar waren voor de nieuwe kartering (Van Kekem et al., 2005). De gerichte opnamepunten zijn geselecteerd in vooraf begrensde deelgebieden (strata).

Alle waarnemingslocaties in de drie strata die overlappen met het validatiegebied (grijs) zijn weergegeven in figuur 1. Er zijn drie categorieën waarnemingslocaties te onderscheiden: 57 locaties van oude Gd-kaart waar in 1998 de grondwaterstand is gemeten, 42 aanvullende locaties voor de nieuwe Gd-kaart waar in 2004 grondwaterstandsmetingen zijn verricht en 100 validatie locaties waar in 2002 grondwaterstandsmetingen zijn verricht.

Met stambuisregressie (zie § 2.4 en § 2.5) is voor iedere opnamelocatie een voorspelling van de GxG gedaan. Deze voorspelling zijn alleen in de nieuwe Gd-kartering beoordeeld op plausibiliteit aan de hand van de Bodemkaart van Nederland, schaal 1 : 50 000. Voorspellingen die niet aan gestelde criteria (Van Kekem et al., 2005) voldoen zijn niet gebruikt in de kartering.

2.4 De stambuizensets

Bij de oude Gd-kaart zijn 49 OLGA/DINO-grondwaterstandbuisen (stambuizen) binnen het beheersgebied gebruikt. Bij de nieuwe Gd-kaart zijn 48 stambuizen gebruikt. Hoewel het aantal gebruikte stambuizen vrijwel gelijk gebleven is, bevatten beide sets slechts drie gemeenschappelijke grondwaterstandbuisen. De meetreeksen van de grondwaterstandbuisen zijn bij de nieuwe Gd-kaart visueel gecontroleerd op meet- en/of invoerfouten (Van der Gaast en Massop, 2004) terwijl dat bij de eerdere kartering niet gebeurde. Ook is de kalibratieperiode voor tijdreeksanalyse veranderd omdat sinds de eerste Gd-kartering extra grondwaterstandsmetingen beschikbaar kwamen.

In tabel 1 staan voor drie grondwaterstandbuisen die in beide Gd-kaarten zijn gebruikt de GHG en de GLG weergegeven zoals die worden voorspeld met tijdreeksanalyse. De veranderde aanpak bij het uitvoeren van de tijdreeksanalyse, en de controle op meet- en invoerfouten kan leiden tot een andere voorspelling van de GxG.

Tabel 1 Uitkomsten van de GxG van drie stambuizen volgens de oude en nieuwe tijdreeksanalyse

Buis	GHG- oud (Sd)	GHG- nieuw (Sd)	GLG- oud (Sd)	GLG- nieuw (Sd)
34GL0018	47 (2)	42 (2)	147 (2)	143 (3)
40FP0095	111 (2)	101 (3)	176 (1)	190 (3)
41BL0017	80 (3)	60 (4)	189 (3)	182 (5)

Tussen haakjes de standaardafwijking

2.5 GxG schattingen met stambuisregressie

Voor elke meetdag zijn regressiemodellen opgesteld, die de relatie beschrijven tussen de gemeten grondwaterstand en de GxG. Met de gemeten grondwaterstand wordt de GxG op de gerichte opnamepunten voorspeld (Van Kekem et al., 2005). Bij de nieuwe Gd-kartering zijn alleen regressiemodellen toegepast die gebruik maken van in het voorjaar gemeten grondwaterstanden voor de GHG en de GVG voorspelling. De GLG is alleen met in de zomer gemeten grondwaterstanden voorspeld. Bij de eerste Gd-kartering is steeds het beste regressiemodel gekozen dat gebruik maakt van beide- of één van beide gemeten standen. Voor het rivierengebied, het zandgebied en het Oost Nederlands plateau zijn in de eerste Gd-kartering specifieke regressierelaties opgesteld (Hoogland et al., 2003). Bij de nieuwe kartering is geen onderscheid naar gebiedstype gehanteerd bij het voorspellen van de GxG uit gerichte opnamen.

Het gemiddelde van de GxG schattingen voor 57 gerichte opname locaties die zowel in de oude als nieuwe kartering zijn gebruikt staan in tabel 2. Het gaat om 57 opnamen in de strata 20, 34 en 61 die overlappen met het gebied liggen waar validatie plaatsvindt. Ook het gemiddelde verschil tussen de schattingen op gerichte opnamepunten en de nauwkeurigheid van de geschatte gemiddelden of gemiddelde verschillen is in tabel 2 weergegeven.

Tabel 2. Gemiddelde GHG en GLG en gemiddelde verschillen van 57 gerichte opname locaties gebruikt in zowel de oude als nieuwe gd-kartering

	Oude Gd-kaart	Nieuwe Gd-kaart	Vershil (oud – nieuw)
GHG	82 (5)	65 (6)	18 (2)
GLG	161 (7)	190 (6)	-28 (3)

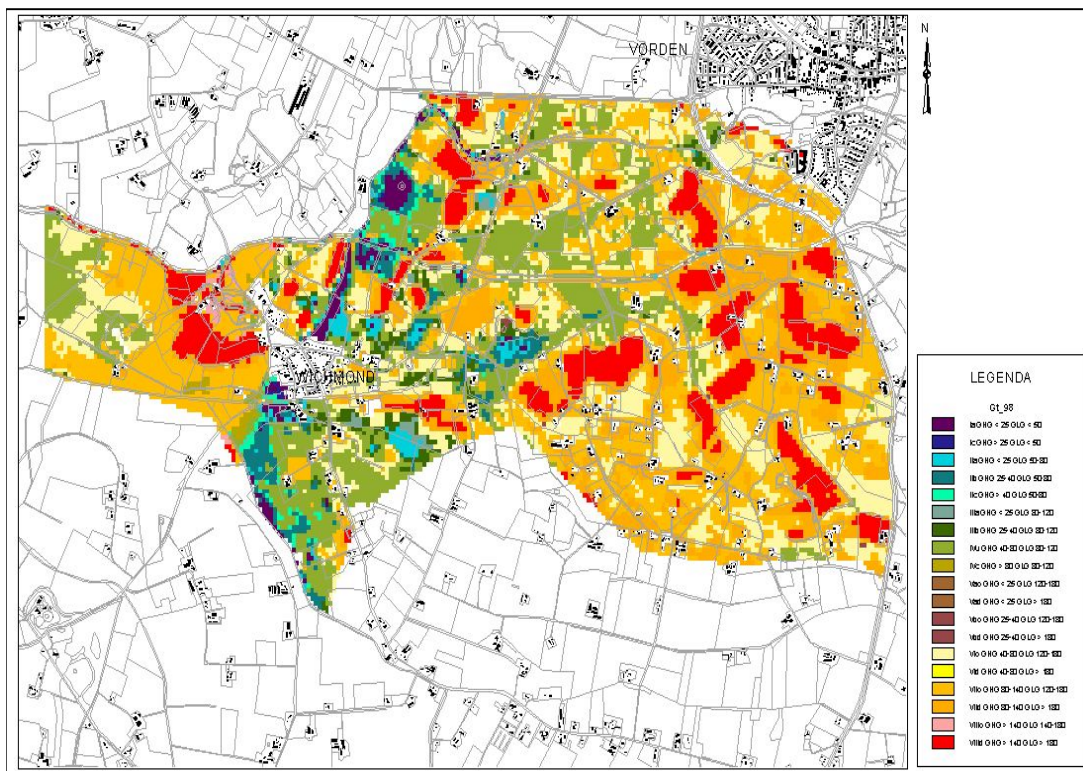
Tussen haakjes de geschatte standaardafwijking

De schattingen van GHG voor opnamelocaties zijn in de nieuwe kaart gemiddeld 18 cm natter en voor GLG gemiddeld 28 cm droger. De verschillen tussen GxG schattingen zijn significant. Als gevolg van deze veranderingen mag ook een verandering in de GHG en GLG kaarten binnen het validatiegebied verwacht worden, wat wordt bevestigd door getallen in tabel 10.

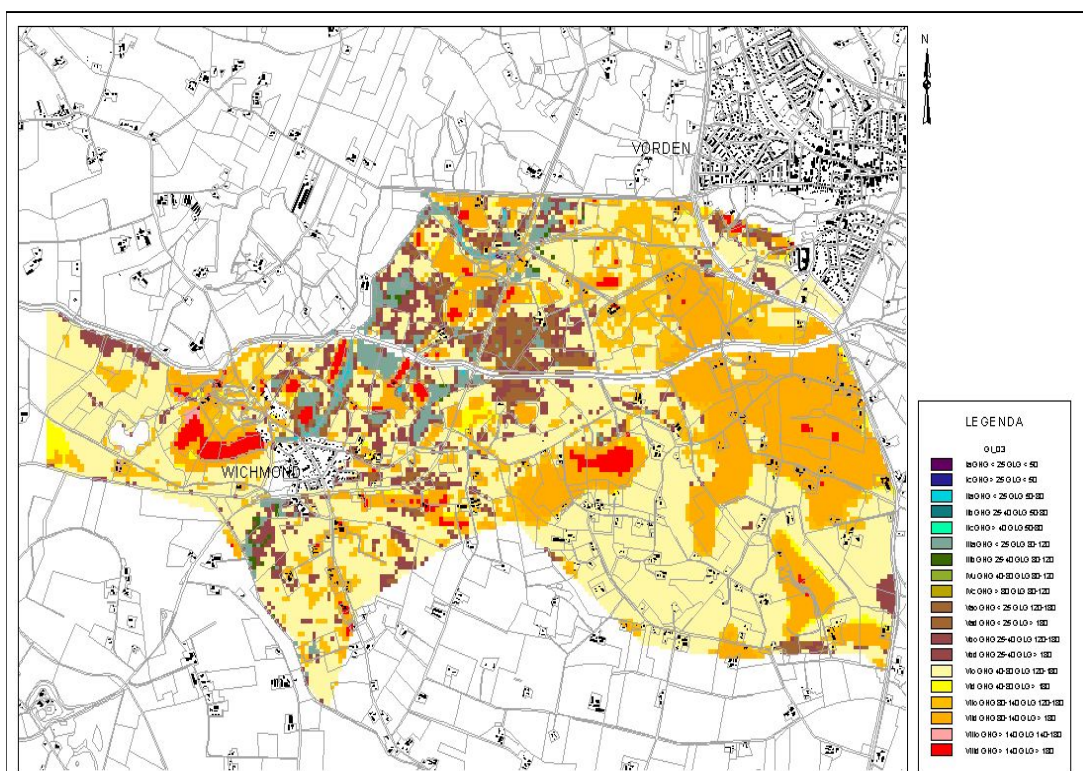
2.6 Maaiveldregressie

Voor ieder stratum worden regressierelaties vastgelegd tussen de voorspelde GxG van de gerichte opnamepunten en gebiedsdekkende hulpinformatie. Dit levert per stratum een regressievergelijking op waarmee de GxG kan worden voorspeld uit (een combinatie van verschillende) hulpgegevens. Deze hulpgegevens worden in groepen aangeboden, waarbij in iedere groep hulpinformatie zit die verwant is (Hoogland et al., 2003 en Van Kekem et al., 2005). Bij de oude Gd-kaart is hulpinformatie aangeboden, die niet bij de nieuwe Gd-kaart niet meer gebruikt is.

In februari 2004 is het definitieve AHN opgeleverd. Dit AHN heeft veranderingen ondergaan ten opzichte van het oorspronkelijk gebruikte AHN. Deze afwijking van het AHN werkt in vier van de vijf groepen hulpinformatie door. De Gt-kaarten van de oude en nieuwe Gd-kartering zijn weergegeven in figuren 2 en 3.



Figuur 2 Grondwatertrappenkaart van de oude Gd-kaart (Hoogland et al., 2003)



Figuur 3 Grondwatertrappenkaart van de nieuwe Gd-kaart (Van Kekem et al., 2005)

3 Methode voor bepaling van de kwaliteit van de kaarten

3.1 Kanssteekproef

De kwaliteit van de twee kaarten is geschat met een kanssteekproef, d.w.z. de validatie punten zijn geloot volgens een goed gedefinieerde steekproefopzet. Als steekproefopzet is gekozen voor een gestratificeerde, enkelvoudig aselechte steekproef. De strata worden gevormd door de Gt's van de grondwatertrappenkaart gemaakt volgens de veldwerk-methode. Enkele min of meer verwante Gt's met een klein oppervlak zijn samengevoegd. Samengevoegd zijn: Gt Ia met Ib en IIb en Gt IIIb met Vao en Vbo. In totaal zijn 100 punten geloot. De punten zijn evenredig naar oppervlak verdeeld over de strata, met een minimum van vier punten per stratum. Voor de meeste strata betekent dit één boring per 8 á 9 ha, voor de kleine strata één boring per 5 á 6 ha. Indien een geloot punt op een locatie ligt die niet tot het doelgebied behoort (erf, berm, sloot enz.), is uitgeweken naar het eerstvolgende reservepunt binnen hetzelfde stratum. Punten aan de rand van percelen en op de grens van een Gt-klasse behoren wel tot het doelgebied (ook hierover doen de kaarten een uitspraak) en zijn dus wel meegenomen. Tabel 3 geeft een overzicht van de strata, met de oppervlakte en het aantal locaties. Als gevolg van filtering van het AHN is één validatie punt in stratum 6 komen te vervallen.

Tabel 3 Stratum-indeling en aantal lotingen per stratum

Stratum	Aantal gelote punten	Gt- klasse	Oppervlakte (ha)
1	7	wIa, Ia, IIa, IIb	31
2	4	IIIa	27
3	13	IIIb, Vao, Vbo	118
4	21	IVu	211
5	21	VIo	217
6	12	VIIo	133
7	4	VIIId	33
8	17	VIIIId	166
Totaal	99		936

3.2 Kwaliteitsmaten

Met de kanssteekproef zijn de volgende kwaliteitsmaten geschat:

- Zuiverheid met betrekking tot GHG (GLG)-klassen en Gt;
- Nauwkeurigheid van de geschatte GHG en GLG op punten.

Deze kwaliteitsmaten worden in de onderstaande paragrafen verder toegelicht.

3.2.1 Zuiverheid

De zuiverheid van een kaart met betrekking tot de Gt is gedefinieerd als het percentage van het gekarteerde oppervlak waarvoor de Gt goed is weergegeven op de

kaart. Hiervoor is op de gelote validatiepunten de GHG en GLG voorspeld op basis van een stambuisregressiemodel (zie §. 2.5). Op basis van de voorspelde GHG en GLG wordt de Gt bepaald. Deze voorspelde Gt wordt beschouwd als de werkelijke Gt, en wordt vergeleken met de Gt zoals weergegeven op de kaart. Wanneer de Gt overeenkomt met die op de kaart wordt aan het steekproefpunt een “1” toegekend, wanneer ze verschillend zijn wordt een “0” toegekend. De zuiverheid van een kaart is het gebiedsgemiddelde van deze indicator-variabele, en kan voor de gestratificeerde, enkelvoudig aselechte steekproef worden geschat met:

$$\text{Zuiverheid (\%)} = \sum_{h=1}^L W_h \frac{1}{n_h} \sum_{j=1}^{n_h} i_{hj},$$

waarin W_h relatieve oppervlakte van stratum h , i_{hj} indicator van punt j in stratum h , n_h totaal aantal gelote validatiepunten in stratum h , en L het aantal strata is.

Tevens is de zuiverheid met betrekking tot de GHG-klasse en GLG-klasse geschat, waarbij de GHG-klassen en GLG-klassen overeenkomen met de klassen gebruikt bij de definitie van de Gt. Hiervoor zijn indicatoren aan de validatiepunten toegekend met de waarde 1 als de GHG-klasse (GLG-klasse) op het steekproefpunt overeenkomt met de (van de Gt-afgeleide) GHG-klasse (GLG-klasse) zoals weergegeven op de kaart, en een 0 als dit niet het geval is.

3.2.2 Nauwkeurigheid

De nauwkeurigheid van de kaarten is gekwantificeerd met de volgende drie kwaliteitsmaten:

- (1) gemiddelde fout (ME),
- (2) gemiddelde gekwadrateerde fout (MSE),
- (3) ruimtelijke variantie van de fout (VE).

Gemiddelde fout (ME):

De gemiddelde fout is gedefinieerd als

$$ME = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \varepsilon_i,$$

waarin N het totaal aantal mogelijke validatiepunten in het onderzoeksgebied, en ε_i de fout op punt i is, d.w.z. het verschil tussen de geschatte GXG (op basis van de Gd-kaart) en de werkelijke GXG op punt i . Deze gemiddelde fout (me) is geschat met:

$$me = \sum_{h=1}^L W_h \cdot me_h = \sum_{h=1}^L W_h \sum_{i=1}^{n_h} \frac{\varepsilon_{hi}}{n_h},$$

waarin ε_{hi} de fout op punt i in stratum h is.

Gemiddelde gekwadrateerde fout (MSE):

De gemiddelde gekwadrateerde fout is gedefiniëerd als:

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \varepsilon_i^2.$$

De gemiddelde gekwadrateerde fout is geschat met:

$$mse = \sum_{h=1}^L W_h \cdot mse_h = \sum_{h=1}^L W_h \sum_{i=1}^{n_h} \frac{\varepsilon_{hi}^2}{n_h}.$$

Ruimtelijke variantie van de fout (VE):

De ruimtelijke variantie van de fout is gedefiniëerd als:

$$VE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\varepsilon_i - ME)^2 = MSE - (ME)^2.$$

Een zuivere schatter voor VE is (Marsman en de Gruijter 1986):

$$ve = mse - (me)^2 + vme,$$

waarin vme de geschatte steekproefvariantie van de geschatte gemiddelde fout (me) is:

$$vme = \sum_{h=1}^L W_h^2 \cdot vme_h = \sum_{h=1}^L W_h^2 \frac{\text{var}(\varepsilon_h)}{n_h}$$

waarin $\text{var}(\varepsilon_h)$ de ruimtelijke variantie van de ε 's binnen stratum h is.

Omdat de met het stambuisregressiemodel voorspelde GXG's op de validatiepunten met de gerichte grondwaterstandmetingen (zie par. 2.3) niet foutloos zijn, kennen we de echte fouten eigenlijk niet. Hetzelfde geldt voor de schatter van de gemiddelde gekwadrateerde fout (mse). Dit leidt tot een overschatting van de variantie van mse en de fout (ve) om die reden hebben we gekeken naar verschillen in mse . Wanneer we kijken naar *het verschil* in mse tussen de oude en nieuwe Gd-kaart, dan hebben we geen last van deze vertekening tengevolge van fouten in de geschatte GXG op de validatiepunten. Om deze reden hebben we met de t-toets voor gepaarde waarnemingen getoetst of het verschil tussen de mse van de beide Gd-kaarten significant afwijkt van 0. Als de mse van de nieuwe Gd-kaart verminderd met de mse van de oude Gd-kaart significant kleiner is dan 0, betekent dit dat de nieuwe Gd-kaart significant nauwkeuriger is dan de oude Gd-kaart.

3.3 Bepaling van de fout in de geschatte GHG en GLG op de validatiepunten

De fout in de geschatte GXG op een steekproefpunt is gedefiniëerd als het verschil tussen de geschatte GXG (GXG volgens kaart) en de werkelijke GXG op dat

validatie punt. Een positieve fout betekent dus een te diepe schatting, van de GXG en een negatieve fout een te ondiepe schatting.

3.3.1 De werkelijke GXG op de validatiepunten

De werkelijke GXG op de gelote validatie punten is bepaald met stambuis-regressiemodellen met als predictor (verklarende variabele) de grondwaterstand op een bepaalde dag. Hiervoor zijn op 29 maart 2002 en op 10 oktober 2002 de grondwaterstanden op de gelote locaties gemeten. Voor het aanpassen van dit stambuisregressiemodel is op deze dagen tevens de grondwaterstand gemeten in buizen waarvan de GxG bekend is. Het gaat om vijf door Kleijer (2000) geplaatste buizen die gedurende één jaar zijn opgenomen (S-nummers), drie buizen van het waterschap (C- en E- nummers), en twee buizen uit OLGA/DINO (L- en P-nummers) (tabel 4).

*Tabel 4 Gegevens van de voor validatie gebruikte stambuizen. Tussen haakjes de geschatte standaardafwijking. Bij de buizen met een * is het transfer-ruismodel gebruikt, bij overige buizen van Gt-kortereeks.*

Grondwater-standbuis		GHG	GLG	Gt
33H-L-0008	*	83 (2,4)	163 (2,8)	VIIo
33H-L-0022	*	79 (1,4)	141 (1,7)	VIo
33H-L-0017	*	56 (1,1)	107 (1,4)	IVu
33H-P-0214	*	99 (2,3)	185 (2,6)	VIIId
33H-L-0015		62 (3,5)	144 (3,3)	VIo
33H-C-0003		53 (3,7)	147 (4,3)	VIo
33H-C-0006		49 (2,7)	123 (3,4)	VIo
33H-E-0003		47 (5,3)	135 (4,2)	VIo
33H-S-0001		16 (4,1)	111 (4,1)	IIIa
33H-S-0002		58 (1,8)	116 (2,0)	IVu
33H-S-0003		71 (2,3)	140 (3,0)	VIo
33H-S-0004		54 (2,2)	124 (2,4)	VIo
33H-S-0005		54 (2,3)	118 (2,3)	IVu

De lange meetreeksen zijn beschreven met transfer-ruismodellen. Deze modellen zijn gebruikt om een klimaatrepresentatieve GxG te berekenen. Voor de negen korte meetreeksen is een regressie-analyse uitgevoerd met het programma GTKORTEREEKS (Voshaar en Stolp 1997).

3.3.2 De geschatte GHG en GLG op de validatiepunten

Voor de GHG kaart en GLG kaart is voor ieder validatiepunt het dichtstbijzijnde punt van het interpolatiegrid bepaald (anders gezegd, binnen welke 25 m bij 25 m cel het steekproefpunt valt), en is de GHG en GLG van deze cel toegekend aan het validatiepunt.

4 Resultaten

4.1 Zuiverheid

De zuiverheid van de oude en nieuwe Gd-kaarten is weergegeven in tabel 5. De geschatte zuiverheid met betrekking tot Gt is voor de oude Gd-kaart, 29% en voor de nieuwe Gd-kaart, 26% (zie tabel 5). De zuiverheid van de Gt-kaart vervaardigd volgens de veldwerk methode in het validatiegebied de Graafschap bedraagt 36% (Pleijter et al., 2003) Marsman en de Gruijter (1986) vonden voor Gt-kaarten een zuiverheid tussen 42% en 46%, Brus en Kiestra (2002) tussen 20 en 45%.

De nieuwe Gd-kaart is iets verslechterd ten aanzien van de zuiverheid in vergelijking met de oude Gd-kaart, 26% tegenover 29%. In de nieuwe Gd-kaart is de zuiverheid van de GLG-klasse verbeterd (49 om 56%), terwijl de zuiverheid voor de GHG-klasse is verminderd (53 om 44%) maar deze verschillen zijn niet significant.

Omdat, zoals gemeld in § 3.2.2, de schattingen van nauwkeurigheden onzuiver zijn dient er voor het aantonen van verschillen gebruikt te worden gemaakt van toetsing op verschilwaarden. De verschilwaarden in zuiverheid tussen de oude Gd-kaart en de nieuwe Gd-kaart staan in tabel 6 en zijn geen van allen significant.

Tabel 5 Geschatte zuiverheid (%) m.b.t. GHG-klasse, GLG-klasse en Gt van de Gd-kaarten van 2003 en 2005

Stratum-nummer	Gd GHG- klasse	oud GLG- klasse	Gt	Gd GHG- klasse	nieuw GLG- klasse	Gt
1	43	43	29	14	0	0
2	25	25	0	0	50	0
3	46	62	46	38	31	0
4	43	38	14	57	19	14
5	48	33	19	62	81	67
6	42	33	0	42	67	17
7	75	25	0	50	75	25
8	88	94	82	24	88	24
Hele gebied	53(4,6)	49(5,0)	29(4,7)	44(4,8)	56(6,2)	26(4,7)

Tussen haakjes de geschatte standaardafwijking

Tabel 6 Geschat verschil in zuiverheid (%) m.b.t. GHG-klasse, GLG-klasse en Gt tussen de nieuwe Gd-kaart en de oude Gd-kaart.

Stratum-nummer	GHG-klasse	GLG-klasse	Gt
1	-29	-43	-29
2	-25	25	0
3	-8	-31	-46
4	14	-19	0
5	14	48	48
6	0	33	17
7	-25	50	25
8	-65	-6	-59
Hele gebied	-8 (7)	8(7)	-3 (6)

Tussen haakjes de geschatte standaardafwijking

4.2 Nauwkeurigheid

In de tabellen 7 en 8 zijn de *me*, *mse* en *ve* van de GHG en GLG uit de oude en nieuwe Gd-kaart weergegeven. De GHG op de nieuwe Gd-kaart wordt systematisch te nat weergegeven (-14,8 cm), en de GLG op de nieuwe Gd-kaart is systematisch te droog weergegeven (20,9 cm). De oude Gd-kaart heeft een minder grote systematische fout voor GHG (4,1 cm) en voor GLG (13,6 cm). De systematische fouten verschillen significant en zijn kleiner voor de oude Gd-kaart

In tabel 9 zijn de verschillen in de gekwadrateerde gemiddelde fouten tussen de oude Gd-kaart en de nieuwe Gd-kaart weergegeven. De oude GHG kaart heeft een significant kleinere MSE dan de nieuwe GHG kaart. Voor de GLG kaart is het precies omgekeerd; daar heeft de nieuwe GLG kaart een significant kleinere *mse* dan de oude. De grotere systematische fout van de nieuwe GLG-kaart maar kleinere *mse* wordt waarschijnlijk veroorzaakt door een betere weergave van het ruimtelijk patroon, dat wordt bevestigd door een lagere *ve* (zie tabel 7).

Tabel 7 Geschatte gemiddelde fout (*me*), gemiddelde gekwadrateerde fout (*mse*) en variantie van de fout (*ve*) voor GHG en GLG van de oude Gd-kaart (Hoogland et al., 2003)

Stratum-nummer	GHG			GLG		
	Me	mse	ve	me	mse	ve
1	17,9 (11,5)	1109 (768)		-5,4 (14,3)	1259 (549)	
2	-4,4 (15,9)	781 (267)		-25,3 (25,0)	2518 (645)	
3	11,0 (6,1)	560 (195)		2,6 (11,2)	1519 (466)	
4	10,5 (6,0)	831 (249)		9,2 (7,7)	1269 (291)	
5	-0,6 (4,2)	348 (87)		5,7 (9,3)	1773 (374)	
6	2,4 (7,2)	580 (197)		21,8 (10,2)	1619 (527)	
7	7,9 (5,5)	155 (54)		55,3 (14,6)	3699 (1393)	
8	-3,3 (4,9)	393 (85)		32,6 (7,9)	2048 (488)	
Hele gebied	4,1 (2,4)	578 (77)	540	13,6 (3,8)	1733 (177)	1424

Tussen haakjes de geschatte standaardafwijking

Tabel 8 Geschatte gemiddelde fout (me), gemiddelde gekwadeerde fout (mse) en variantie van de fout (ve) voor GHG en GLG van de nieuwe Gd-kaart (Van Kekem et al., 2005)

Stratum-nummer	GHG			GLG		
	Me	mse	ve	me	Mse	ve
1	5,9 (10,8)	739 (225)		33,0 (6,5)	1340 (386)	
2	-25,9 (13,8)	1242 (615)		4,3 (13,2)	538 (457)	
3	2,7 (9,0)	977 (293)		30,4 (8,8)	1857 (710)	
4	6,2 (4,7)	490 (179)		29,4 (3,6)	1128 (268)	
5	-12,2 (6,6)	1026 (354)		19,9 (7,5)	1517 (429)	
6	-33,5 (11,2)	2491 (786)		10,0 (10,0)	1208 (248)	
7	-28,3 (11,4)	1193 (855)		16,8 (9,4)	545 (157)	
8	-42,0 (8,5)	2910 (989)		14,5 (9,5)	1652 (408)	
Hele gebied	-14,8 (3,2)	1402 (233)	948	20,9 (3,2)	1374 (169)	949

Tussen haakjes de geschatte standaardafwijking

Tabel 9 Geschat gemiddeld verschil in gekwadeerde fouten tussen de Gd-kaart 2003 en de Gd-kaart-2005 voor GHG en GLG

Stratum-nummer	GHG		GLG	
1	370	(760)	-82	(656)
2	-461	(569)	1981	(858)
3	-417	(367)	-338	(846)
4	342	(276)	141	(380)
5	-679	(343)	255	(341)
6	-1911	(838)	412	(481)
7	-1038	(836)	3154	(1529)
8	-2517	(963)	396	(306)
Hele gebied	-824	(240*)	359	(191*)

Tussen haakjes de geschatte standaardafwijking. De verschillen gemarkeerd met met een “*” zijn significant afwijkend van nul bij een overschrijdingskans van 95%.

5 Verklaringen voor gevonden verschillen

De gevonden verschillen kunnen een groot aantal oorzaken hebben. In hoofdstuk 2 zijn de belangrijkste verschillen tussen de oude en nieuwe Gd-kartering genoemd. In dit hoofdstuk proberen we de geconstateerde verschillen tussen beide kaarten te verklaren door met aanvullende berekeningen vast te stellen hoe groot de bijdrage van afzonderlijke veranderingen is. Daartoe is een derde Gd-kaart vervaardigd waarbij alleen de gerichte opname locaties van de oude Gd-kaart zijn gebruikt maar met de GxG schattingen uit stambuisregressie volgens de nieuwe Gd-kaart. Met deze extra Gd-kaart kan het kwaliteitsverschil ten opzichte van de nieuwe Gd-kaart als gevolg van alleen de waarnemingsdichtheid worden geschat omdat alleen het aantal opnames en niet de GxG schattingen op de opnamelocaties zijn aangepast ten opzichte van de nieuwe kartering.

De gebiedsgemiddelde GHG en GLG voor het validatiegebied volgens de drie Gd-kaarten, de oude, de nieuwe en een extra Gd-kaart die voor deze studie vervaardigd is, zijn weergegeven in tabel 10.

Tabel 10 Gemiddelde GHG en GLG binnen het validatiegebied volgens de drie Gd-karteringen.

	Gd-kaart oud	Gd-kaart nieuw	Extra Gd-kaart
GHG	89	71	74
GLG	159	164	178

5.1 Effect van extra gerichte opnamepunten op de nauwkeurigheid

In tabel 11 zijn de me, vme, mse en ve weergegeven voor de oude Gd-kaart, de nieuwe Gd-kaart en de extra Gd-kaart waarbij alleen de gerichte opname locaties van de oude kaart zijn gebruikt maar met de GxG schattingen uit stambuisregressie van de nieuwe kaart. Met deze laatste kaart kan het kwaliteitsverschil als gevolg van alleen de waarnemingsdichtheid worden geschat omdat alleen het aantal opnames en niet de GxG schattingen van deze opnames of de gebruikte hulpinformatie zijn aangepast ten opzichte van de nieuwe kartering.

Het verschil in de systematische fouten (me in tabel 11) voor GHG en GLG tussen de nieuwe Gd-kaart en de extra Gd-kaart kan verklaard worden uit een toevallige wisseling van de verhouding van meetlocaties in droge en natte gebiedsdelen. De Gd-kaart in het validatiegebied wordt daardoor natter of droger (zie tabel 10) afhankelijk van het wel of niet gebruiken van bepaalde locaties bij de kartering. Ook in een studie van Hoogland et al. (2004) is dit verschijnsel waargenomen en varieert de GLG afhankelijk van de toevallige keuze van meetlocaties die bij de kartering worden gebruikt.

Tabel 11 Geschatte gemiddelde fout (me), gekwadrateerde fout (mse) en variantie van de fout (ve) voor de oude Gd-kaart, nieuwe Gd-kaart en de extra Gd-kaart

Kaart	GxG	me	mse	ve
Oude Gd-kaart	GHG	4.1	578	540
	GLG	13.6	1733	1424
Nieuwe Gd-kaart	GHG	-14.8	1402	948
	GLG	20.9	1374	949
Extra Gd-kaart	GHG	-12.2	1360	1075
	GLG	35.3	2348	1168

Vergelijking van statistieken voor de nieuwe Gd-kaart en de extra Gd-kaart in tabel 11 laat zien dat een hogere waarnemingsdichtheid, met dezelfde GxG schattingen op meetlocaties leidt tot een betere weergave van het ruimtelijk patroon ondanks een soms grotere systematische fout en gekwadrateerde fout. De betere weergave van het ruimtelijk patroon als gevolg van extra waarnemingslocaties wordt geïllustreerd door een lager variantie van de fout (ve in tabel 11) voor de nieuwe Gd-kaart t.o.v. de extra Gd-kaart. Het vergroten van de waarnemingsdichtheid zorgt voor een betere weergave van het ruimtelijk patroon maar wordt in deze studie overschaduwd door andere veranderingen tussen beide Gd-karteringen.

5.2 Het effect van stambuisregressie en gebiedsdekkende hulpinformatie

De gemiddelde GHG en GLG voor gerichte opnamelocaties berekend met de oude en nieuwe stambuisregressiemodellen tonen grote verschillen (zie tabel 2). De gerichte opnames in de nieuwe kartering zijn voor GHG gemiddeld 17 cm natter en voor GLG gemiddeld 29 cm droger dan in de oude kartering. Omdat gebiedsdekkende predictie op basis van regressiemodellen met ruimtelijke hulpinformatie in de regel niet tot systematische verschuivingen leidt mag als gevolg van deze veranderingen een vergelijkbare verandering in de GHG en GLG kaarten verwacht worden. Dit wordt bevestigd door vergelijking van de gemiddelde GHG en GLG uit de Gd-kaarten binnen het validatiegebied weergegeven in tabel 10.

Het grote verschil in systematische fouten tussen de oude Gd-kaart en de extra kaart is naar onze mening vooral het gevolg van stambuisregressie. Het kwantificeren van de bijdragen van stambuisregressie en gebruikte hulpinformatie aan geconstateerde verschillen is niet mogelijk maar door de grote verschillen in de gemiddelde GxG op de gerichte opname locaties en beperkte veranderingen met betrekking tot gebruikte hulpinformatie vermoeden wij dat vooral de stambuisregressie de verschillen veroorzaakt.

Het gecombineerde effect van andere stambuisregressie en hulpinformatie gebruik makend van dezelfde meetlocaties wordt geïllustreerd door de verschillen tussen de oude Gd-karten en de extra Gd-kaart met dezelfde waarnemingslocaties. Deze verschillen zijn wat betreft systematische fouten (me in tabel 11) en gekwadrateerde fouten (mse) dermate groot dat ze een verbeterde weergave van het ruimtelijk patroon als gevolg van extra waarnemingslocaties compleet overschaduwden.

6 Conclusies

- A) De nieuwe Gd-kaart waarbij ondermeer extra gerichte opnamepunten zijn gebruikt levert geen verbetering noch verslechtering op ten aanzien van de zuiverheid van de kaart in vergelijking met de oude Gd-kaart. De geconstateerde verschillen in kaartzuiverheid voor GHG, GLG en Gt zijn geen van allen significant.
- B) De GHG op de nieuwe Gd-kaart is systematisch te nat (-14,8 cm), en de GLG systematisch te droog (20,9 cm). De oude Gd-kaart heeft een minder grote systematische fout voor zowel GHG (4,1 cm) als GLG (13,6 cm)
- C) De oude GHG kaart heeft een significant kleinere gekwadrateerde fout (*mse*) dan de nieuwe GHG kaart. Voor de GLG kaart is het precies omgekeerd; daar heeft de nieuwe GLG kaart een significant kleinere *mse* dan de oude. Gezien de grotere systematische fout van de nieuwe GLG kaart wordt kleinere *mse* waarschijnlijk veroorzaakt door een betere weergave van het ruimtelijk patroon.
- D) Een hogere waarnemingsdichtheid, met dezelfde GxG schattingen op meetlocaties en gebruik van dezelfde ruimtelijke hulpinformatie leidt tot een betere weergave van het ruimtelijk patroon ondanks een soms grotere systematische fout en gekwadrateerde fout.
- E) Veranderingen in de stambuisregressie en de gebruikte hulpinformatie samen zorgen voor systematische fouten en gekwadrateerde fouten die veelal dermate groot dat ze de verbeterde weergave van het ruimtelijk patroon als gevolg van meer waarnemingslocaties overschaduwden.

Literatuur

Brus, D.J en E, Kiestra, 2002. *Kan de efficiëntie van bodemkarteringen op schaal 1 : 10 000 worden vergroot met het Actuele Hoogtebestand Nederland?* Wageningen. ALTERRA, Rapport 498.

Cate, J.A.M, ten, A.F, van Holst, H, Kleijer, J, Stolp, 1995. *Handleiding bodemgeografisch onderzoek, Richtlijnen en voorschriften. Deel B: Grondwater.* Wageningen. DLO- Staring Centrum, technisch document 19B.

Gaast, J.W.J. van der, H.Th.L. Massop, 2003. *Karakterisering van de freatische grondwaterstand in Nederland. Bepaling van de GxG en xG3 voor 1995 op puntlocaties.* Wageningen. ALTERRA rapport 819.

Gruijter, J.J. de, J.B.F. van der Horst, G.B.M. Heuvelink, M. Knotters, T. Hoogland, 2004. *Grondwater opnieuw op de kaart. Methodiek voor de actualisering van grondwaterstandinformatie en perceelsclassificatie naar uitspoelingsgevoeligheid voor nitraat.* Wageningen. ALTERRA rapport 915.

Hoogland, T., D.J. Brus, G.B.M. Heuvelink, M.Knotters, 2004. *Hoe de kartering van de grondwaterstand (nog) beter kan.* Wageningen. ALTERRA rapport 1032.

Hoogland, T. en P.A. Finke en F. de Vries, 2003. *Actualisatie grondwatertrappenkaart Waterschap Rijn en IJssel.* Wageningen. ALTERRA Rapport 126.

Kekem A.J. van, T. Hoogland en J.B.F. van der Horst, 2005. *Uitspoelingsgevoelige gronden op de kaart; Werkwijze en resultaten.* Alterra-rapport 1080

Kleijer, H., 2000. *De bodemgesteldheid van de gebieden Berkeldal, Graafschap, Wildenborch, Warnsveld-Vierakker en Hummelo-Keppel. Resultaten van een bodemgeografisch onderzoek.* Wageningen. ALTERRA Rapport 090.

Marsman, B.A. en J.J. de Gruijter, 1986. *Quality of Soil maps, A comparison of survey methods in a sandy area.* Wageningen. Netherlands Soil Survey Institute, soil suvey papers, no 15.

Oude Voshaar, J.H. en J, Stolp, 1997. *Schatting van GHG en GLG van tijdelijke peilbuisen met korte meetreeksen.* Wageningen. DLO – Staring Centrum, Technisch document 30.

Pleijter, M, F. Brouwer, D.J. Brus, 2003. *Kaarten met grondwaterstandverloop nader bekeken. Kan de kwaliteit van grondwaterstandkaarten die gemaakt zijn met ruimtelijke modellen verbeterd worden door aanvullend veldwerk?.* Wageningen. ALTERRA rapport 736.

Riele, W.J.M, te en D.J. Brus, 1991. *Methoden van gerichte grondwaterstandsmetingen voor het schatten van de GHG.* Wageningen. DLO – Staring Centrum, Rapport 158.

