



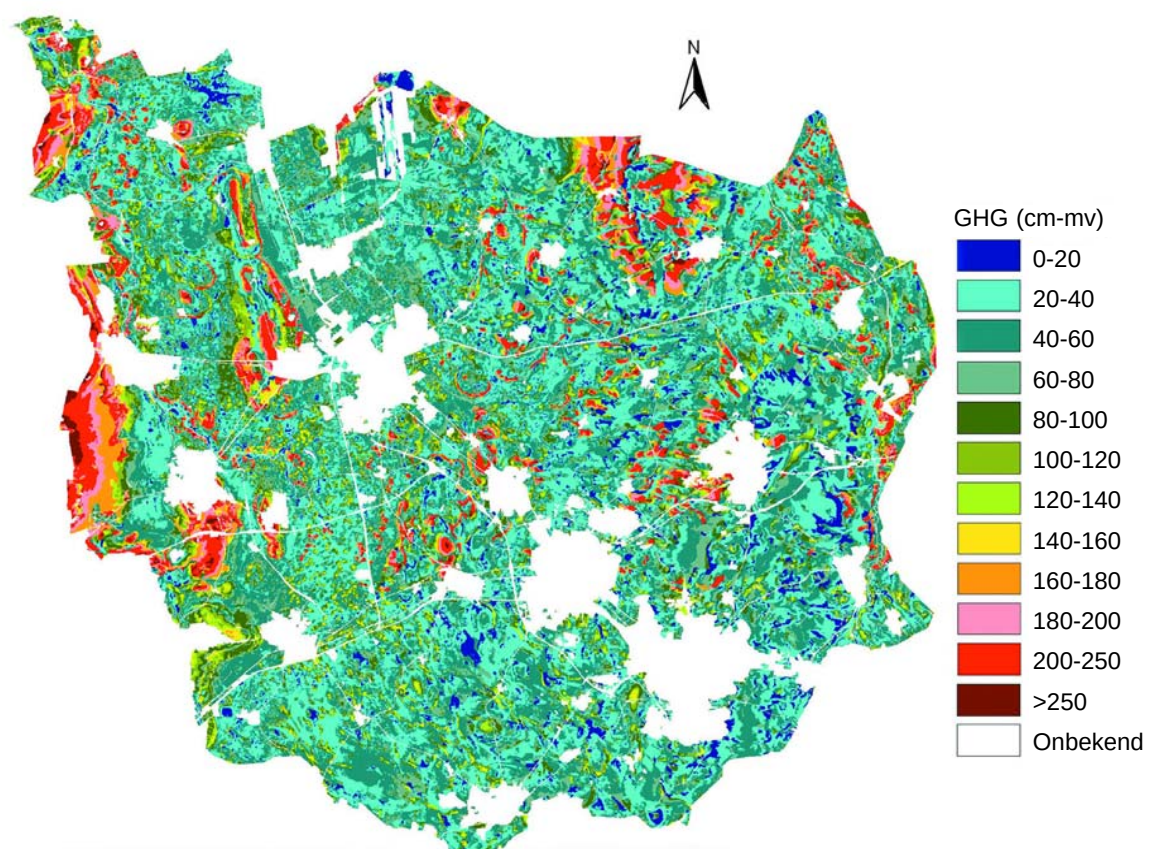
ALTERRA

WAGENINGEN UR

# De grondwaterdynamiek in het waterschap Regge en Dinkel

J.W.J. van der Gaast  
H.R.J. Vroon  
M. Pleijter

Alterra-rapport 1335, ISSN 1566-7197



## De grondwaterdynamiek in het waterschap Regge en Dinkel



# **De grondwaterdynamiek in het waterschap Regge en Dinkel**

**J.W.J. van der Gaast**

**H.R.J. Vroon**

**M. Pleijter**

**Alterra-rapport 1335**

**Alterra, Wageningen, 2006**



## REFERAAT

Gaast, J.W.J. van der, H.R.J. Vroon & M. Pleijter, 2006. *De grondwaterdynamiek in het waterschap Regge en Dinkel*. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 1335. 140 blz.; 42 fig.; 9 tab.; 67 ref.

Op basis van tijdreeksen van grondwaterstanden en gerichte waarnemingen van freatische grondwaterstanden in boorgaten zijn grondwaterkarakteristieken in de vorm van GHG, GVG en GLG (tezamen GxG) bepaald. Vervolgens zijn deze karakteristieken gerelateerd aan gebiedsdekkende hulpgegevens welke o.a. bestaan uit maaiveldhoogte uit het AHN. De verkregen relaties zijn gebiedsdekkend toegepast met behulp van een geostatistische interpolatie methode. De aldus verkregen gebiedsdekkende bestanden van de GxG en Gt zijn uitgebreid met regimecurves en duurlijnen en geven samen een actueel beeld van de grondwaterdynamiek voor het waterschap Regge en Dinkel op een schaal 1 : 50 000. Ter verbetering is een interpolatiemethode op basis van verwantschap ontwikkeld om digitaal beschikbare detailkarteringen te kunnen combineren met de Gd-gegevens. Daarnaast is een eenvoudige neerschalingmethode gebruikt waarmee een actueel beeld van de grondwaterkarakteristieken kan worden vervaardigd. In de vorm van een uitgebreide validatie is gekeken naar de kwaliteit van verschillende Gt-actualisatiemethoden. Hierbij is gekeken naar gemiddelde verschillen en verschillen in Gt-patronen.

Trefwoorden: Gd, geostatistiek, grondwaterdynamiek, grondwaterkartering, grondwaterregime, grondwatertrap, Gt, interpolatie, neerschaling, tijdreeksanalyse, regressie, stambuis, stratificatie

ISSN 1566-7197

Dit rapport kunt u bestellen door € 35,- over te maken op banknummer 36 70 54 612 ten name van Alterra, Wageningen, onder vermelding van Alterra-rapport 1335. Dit bedrag is inclusief BTW en verzendkosten.

© 2006 Alterra

Postbus 47; 6700 AA Wageningen; Nederland

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

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd 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 en probleemstelling                                    | 11 |
| 1.2 Doelstelling                                                       | 12 |
| 1.3 Uitvoering                                                         | 12 |
| 1.4 Karakterisering van het grondwaterstandsverloop                    | 13 |
| 1.5 Begrippenkader                                                     | 15 |
| 1.6 Leeswijzer                                                         | 17 |
| 2 De Gd-actualisatie: methode beschrijving                             | 19 |
| 2.1 Schematische weergave van de werkwijze                             | 19 |
| 2.2 Indeling van het gebied in homogene deelgebieden                   | 20 |
| 2.3 Stratumindeling voor het waterschap Regge en Dinkel                | 21 |
| 3 Gd-actualisatie: tijdreeksmodellering                                | 23 |
| 3.1 Selectie van grondwaterstandsreeksen                               | 23 |
| 3.2 Overige grondwaterstandsreeksen                                    | 23 |
| 3.3 Berekening van de klimaatsrepresentatieve GxG                      | 24 |
| 3.4 Gevoeligheidsanalyse lineaire tijdreeksmodellering                 | 25 |
| 3.5 Resultaten voor het waterschapsgebied                              | 28 |
| 4 Gd-actualisatie: de GxG op gerichte opnamelocaties                   | 31 |
| 4.1 Gerichte opnamen                                                   | 31 |
| 4.2 Berekening van de GxG op gerichte opnamelocaties                   | 32 |
| 4.3 Gevoeligheidsanalyse stambuisregressie                             | 33 |
| 4.4 Plausibiliteittoets gerichte opnames in het waterschapsgebied      | 36 |
| 4.5 Bepaling van de onzekerheid voor detailkarteringsinformatie        | 41 |
| 4.6 Resultaten voor het waterschapsgebied                              | 42 |
| 5 Gd-actualisatie: maaiveldsregressie                                  | 45 |
| 5.1 Gebiedsdekkende hulpinformatie over topografie en waterhuishouding | 45 |
| 5.2 Afleiding van gebiedsdekkende hulpinformatie                       | 45 |
| 5.3 Gebiedsdekkende voorspelling van de GxG                            | 48 |
| 5.4 Regressieanalyse                                                   | 49 |
| 5.5 Ruimtelijke structuur van de residuen                              | 50 |
| 5.6 Universal kriging van GxG                                          | 50 |
| 5.7 Gevoeligheden maaiveldsregressie                                   | 52 |
| 5.8 Resultaten voor het waterschapsgebied                              | 57 |
| 6 Interpolatie van detailkarteringen                                   | 59 |
| 6.1 Detailkarteringen                                                  | 59 |
| 6.2 Ruimtelijke interpolatie op basis van verwantschap                 | 62 |
| 6.3 Interpolatie van de puntinformatie uit de detailkarteringen        | 63 |

|                            |                                                                               |     |
|----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 7                          | Een eenvoudige actualisatiemethode op basis van neerschaling                  | 67  |
| 7.1                        | Werkwijze                                                                     | 67  |
| 7.2                        | Actuele situatie op basis van landelijke gegevens                             | 69  |
| 7.3                        | Grondwaterstandswaarnemingen                                                  | 71  |
| 7.4                        | Resultaat voor het waterschapsgebied                                          | 74  |
| 8                          | Validatie                                                                     | 77  |
| 8.1                        | Vergelijk tussen de Gd-kaart en de bodemkaart                                 | 77  |
| 8.2                        | Validatie op basis van peilbuisgegevens                                       | 86  |
| 8.3                        | Validatie voor drinkwaterkartering Hengelo-Hasselo                            | 86  |
| 8.4                        | Detailkarteringen                                                             | 89  |
| 9                          | Vlakdekkende karakterisering van het grondwaterstands-verloop                 | 93  |
| 9.1                        | Duurlijnen                                                                    | 93  |
| 9.2                        | Daggemiddelde regimecurves                                                    | 97  |
| 10                         | Discussie                                                                     | 101 |
| 11                         | Conclusies                                                                    | 109 |
|                            | Literatuur                                                                    | 115 |
| <br><b><i>Bijlagen</i></b> |                                                                               |     |
| 1                          | Stambuisgegevens                                                              | 121 |
| 2                          | Relaties meetdata                                                             | 125 |
| 3                          | Vergelijking                                                                  | 129 |
| 4                          | Plausibiliteittoets van de gerichte opnamen                                   | 133 |
| 5                          | Rekenregels voor controle van de regressie-uitkomsten op grondwatermeetpunten | 139 |

## Woord vooraf

Dit rapport beschrijft de wijze waarop gebiedsdekkende bestanden van de grondwaterdynamiek in waterschap Regge en Dinkel zijn vervaardigd. Met dit rapport is een serie kaarten en bestanden opgeleverd waarmee het waterschap, de provincie Overijssel en DLG een vernieuwde informatiebasis hebben voor ruimtelijke analyses van de grond- en oppervlaktewatersituatie.

Bij dit project is constructieve medewerking ondervonden van waterschap Regge en Dinkel. Vanuit het waterschap is het project begeleid door een begeleidingscommissie. Deze commissie is samengesteld uit de volgende personen:

- Sjon Monincx
- Erik Broeze
- Jeroen van der Scheer
- Rob van Dongen
- Nannie Otto
- Bas Worm
- Marc Ooms (provincie Overijssel)

Speciale dank is verschuldigd aan Sjon Monincx, de projectleider en trekker van de begeleidingscommissie. Daarnaast zijn de onderzoekers Harry Massop zeer erkentelijk voor zijn opbouwende kritiek met betrekking tot de rapportage van dit project.

Het project heeft een duidelijke relatie met de landelijke Gd-kartering voor het ministerie van LNV. Hierdoor was een randvoorwaarde van dit project dat dezelfde actualisatie methode werd toegepast. Gedurende het project is als gevolg van tegenvallende resultaten van de Gd-actualisatiemethode, die het resultaat waren van het LNV-project, besloten het project voor het waterschap enige tijd stil te leggen. In deze periode is gezocht naar oplossingen om de resultaten te verbeteren. In overleg met het waterschap is vervolgens besloten om de digitaal beschikbare recente detailkarteringen te gebruiken. In de gebieden waarvoor deze detailkarteringen beschikbaar waren zijn de Gd-resultaten vervangen door informatie uit de detailkarteringen.



## Samenvatting

Het grondwater bevindt zich in Nederland doorgaans op geringe diepte, en is daardoor een belangrijke factor bij allerlei vraagstukken met betrekking tot de inrichting, het beheer en de kwaliteit van het landelijk gebied. De beschikbaarheid van actuele informatie over de grondwaterstand is dan ook van groot belang. Deze informatie staat vanouds op de zogenaamde grondwatertrappen-(Bodem en Gt-) kaarten (opnames vanaf jaren '60). Deze kaarten kunnen echter verouderd zijn, omdat er sinds deze karteringen ingrepen in de waterhuishouding kunnen zijn geweest. Voor het waterschap Regge en Dinkel is de actualiteit van de Gt-kaart beoordeeld op basis van peilbuisinformatie. Dit onderzoek heeft aangetoond dat actualisatie van de Gt wenselijk was. Naast de actualiteit van de grondwatergegevens wensen de gebruikers van Gt-kaarten meer informatie dan de Gt-klassen met een gemiddeld hoogste en gemiddeld laagste grondwaterstand (resp. GHG en GLG): er is tevens behoefte aan kaarten van de GHG, de GVG en de GLG (samengevat als GxG's), regimecurves en duurlijnen, alsmede aan een indicatie van de nauwkeurigheid van deze informatie. Deze nieuwe, uitgebreide beschrijving van de grondwaterstand wordt grondwaterdynamiek (Gd) genoemd.

Het doel van dit project is de beschrijving van de grondwaterdynamiek binnen het beheergebied van waterschap Regge en Dinkel. Hiertoe dient de dynamiek van de grondwaterstand, door middel van GxG, regimecurve en duurlijn in kaart gebracht te worden. Een neven doel van het onderzoek is het gebiedsdekkend in kaart brengen van de nauwkeurigheid van de GxG. Een belangrijke randvoorwaarde voor het onderzoek was, dat de wijze waarop het onderzoek wordt uitgevoerd een duidelijke relatie heeft met de landelijke Gd-kartering voor het ministerie van LNV.

De gehanteerde Gd-methode bestaat globaal gezien uit de volgende drie fasen:

- 1 *Verzamelen en bewerken van benodigde gegevens*
- 2 *Geostatistische verwerking van de gegevens*
- 3 *Nabewerking van de geostatistische resultaten*

Naast de Gd-methode is als gevolg van tegenvallende resultaten van de landelijke Gd-kartering voor LNV gebruik gemaakt van andere actuele Gt-informatie. Ter verbetering van de Gd-kaart is gebruik gemaakt van digitaal beschikbare recente detailkarteringen. Deze detailkarteringen zijn beschikbaar voor ruim 25% van het beheergebied van het waterschap. In het kader van dit onderzoek is een interpolatietechniek ontwikkeld om tussen de puntinformatie uit de detailkarteringen te interpoleren. Hierdoor was het mogelijk om de detailkarteringsinformatie te gebruiken om de Gd-informatie te vervangen in de gebieden waar deze digitaal beschikbaar zijn. Aangezien de patrooninformatie van de Gd-kaart voor de overige 75% van het areaal te wensen overlaat is een alternatieve kaart gemaakt. Het gaat hierbij om een relatief nieuwe methode waarmee de grondwaterstand, gebruikmakend van Gt-patrooninformatie, via een neerschalingstechniek effectief en relatief eenvoudig kan worden bepaald.

Om inzicht te krijgen in de kwaliteit van de afzonderlijke actuele Gt-informatiebronnen is een validatie uitgevoerd. Voor de validatie is gebruik gemaakt van detailkartingsinformatie. Deze informatie is gebaseerd op uitgebreid veldonderzoek en is voorgelegd aan de ingelanden. Hierdoor worden dergelijke kaarten gedragen in de streek. Uit de validatie komt naar voren dat de Gd-methode t.o.v. andere methoden de geringste gemiddelde afwijking heeft met de detailkarteringen. De Gd-kaarten blijken echter voor een groot gedeelte van het gebied te zijn afgevlakt en geven de patronen in de GHG en GLG niet goed weer. Neerschaling van de actuele GxG op basis van detailkarteringsinformatie geeft redelijk goede resultaten voor zowel de absolute GxG als de patrooninformatie. Voor het beheergebied van het waterschap is tevens een hydrologisch (Modflow) model beschikbaar. Het Modflow model kan de GHG patronen moeilijk simuleren, vooral in gebieden met keileem in de ondergrond. Het Modflow model kan daarentegen de patronen van het GLG-verloop redelijk goed simuleren. De GLG wordt echter iets te droog gesimuleerd.

Uit het onderzoek komt verder naar voren dat het geheel uitschakelen van het klimaat middels lineaire tijdreeksmodellen niet mogelijk is. Ook zijn er slechts geringe verschillen tussen de klimaatsrepresentatieve GxG en de GxG berekend op basis van metingen over een periode van tenminste 8 jaar. Hierdoor kunnen beide gegevens naast elkaar gebruikt worden.

Verder blijkt, dat de GxG's berekend in stambuizen, als gevolg van het niet meenemen van anisotropie in bodemprofielen, gemiddeld droger zijn dan de GxG's uit de detailkarteringen en derhalve resulteren in een numerieke verdroging.

In het kader van dit onderzoek zijn voor het waterschapsgebied verschillende actuele Gt-informatiebronnen beschikbaar gekomen. De Gd-kaart geeft statistisch gezien de beste schatting van de actuele Gt op een schaal 1 : 50 000 en dient altijd gebruikt te worden in combinatie met de bijbehorende informatie over de onzekerheid. De geïnterpoleerde detailkarteringen die voor ruim 25% van het areaal beschikbaar zijn hebben een hoog detailniveau (gebruiksschaal 1 : 7 500) en beschrijven de patrooninformatie goed. Hierdoor zijn deze kaarten voor de meeste toepassingen bruikbaar. De actuele neergeschaalde Gt heeft een gebruiksschaal van 1 : 50 000 en geeft een goede beschrijving van de Gt-patronen op deze schaal. Hierdoor is deze kaart ten opzichte van de Gd-kaart veel geschikter om te gebruiken. Deze kaart is bijvoorbeeld bruikbaar voor het afleiden van afvoer- en kwel/wegzijgingsgegevens.

Voor het waterschapsgebied zijn ook duurlijnen en daggemiddelde regimecurves gegenereerd. De duurlijnen kunnen gebruikt worden om te kijken naar overschrijdingsfrequenties. De daggemiddelde regimecurves geven de grondwaterstandsfluctuatie in afgevlakte vorm, waardoor ze bruikbaar zijn voor de schatting van een grondwaterstand voor een bepaalde dag in enig toekomstig jaar.

# 1 Inleiding

## 1.1 Achtergrond en probleemstelling

De bodem en grondwatertrappenkaart (Gt-kaart), schaal 1 : 50 000, is de enige landsdekkende beschrijving van de seizoensfluctuatie van freatische grondwaterstanden in Nederland. De Gt's zijn in de periode 1961–1992 simultaan met de bodem in kaart gebracht en opgeslagen in het Bodemkundig Informatie Systeem (BIS). De Gt heeft betrekking op de diepte van het freatische grondwater ten opzichte van maaiveld. Door de geringe diepte waarop zich in Nederland het grondwater bevindt, is de Gt-informatie van belang bij allerlei vraagstukken met betrekking tot de inrichting, het beheer en de kwaliteit van het landelijk gebied. In het kader van Waternood is men gebruik gaan maken van het gewenste grond en oppervlaktewater regime (GGOR) (Projectgroep Waternood, 1998). Een belangrijk onderdeel binnen de waternoodsystematiek is het actuele grondwaterregime (AGR).

In de loop van de tijd veranderden de niveaus en de fluctuaties van de grondwaterstand door ingrepen in de waterhuishouding als gevolg van landbouwkundige wensen, drainage, drinkwaterwinning e.d. (Amstel *et al.*, 1989; Braat *et al.*, 1989). Hierdoor is de informatie op de Gt-kaarten meestal niet meer actueel. Voor het waterschap Regge en Dinkel is de actualiteit van de Gt-kaart beoordeeld op basis van peilbuisinformatie. Dit onderzoek heeft aangegeven dat actualisatie van de Gt wenselijk was (Hoogland en Visschers, 2000).

De behoefte aan Gt-informatie die de heersende, actuele hydrologische omstandigheden representeert, bleef onverminderd groot. Daarom werd de actualisatie van de Gt-kaarten een speerpunt bij de verzameling van bodemdata. Inmiddels wezen studies uit dat de Gt-informatie de heersende klimatologische omstandigheden beter zou representeren wanneer niet alleen grondwaterstands-waarnemingen gedurende de ca. acht jaar voorafgaand aan de kartering zouden worden gebruikt, zoals tot dan toe gebruikelijk was bij de kartering van Gt's, maar ook gebruik zou worden gemaakt van meteorologische data en de samenhang tussen deze data en de grondwaterstand. Uit een onderzoek onder de gebruikers van de bodem- en Gt-kaart (Finke *et al.*, 1999) bleek bovendien dat een uitgebreidere beschrijving van de grondwaterstandsfluctuatie gewenst was. Er was onder andere behoefte aan ruimtelijke informatie over de gemiddeld hoogste en gemiddeld laagste grondwaterstanden (resp. GHG en GLG, samengevat GxG) die ten grondslag liggen aan de indeling in Gt-klassen. Daarnaast wensten de gebruikers een indicatie van de nauwkeurigheid van de GxG's.

Kwantitatieve informatie over de nauwkeurigheid van GxG's kan bijvoorbeeld gebruikt worden voor de ondersteuning van beleidsbeslissingen, zoals bijvoorbeeld het nemen van antiverdrogingsmaatregelen. Bij het nemen van dergelijke beslissingen is het belangrijk inzicht te hebben in het risico dat men ten onrechte maatregelen neemt. Dit risico moet zo laag mogelijk zijn. Bovendien is het bij maatregelen ten



behoefte van het beleid van belang dat deze is gebaseerd op GxG's die het heersende grondwaterregime representeren.

## 1.2 Doelstelling

Het doel van dit project is een beschrijving van de grondwaterdynamiek binnen het beheergebied van waterschap Regge en Dinkel te geven. Hiertoe dient de dynamiek van de grondwaterstand, door middel van GxG, regimecurve en duurlijn in kaart gebracht te worden. Een neven doel van het onderzoek is het gebiedsdekkend in kaart brengen van de nauwkeurigheid van de GxG.

## 1.3 Uitvoering

Het project werd simultaan uitgevoerd met het project van het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit (LNV) voor de aanwijzing van gronden die gevoelig zijn voor de uitspoeling van nutriënten naar het grondwater. In de jaren 2002 en 2003 liep in dit kader een onderzoeksproject voor classificatie van percelen naar uitspoelingsgevoeligheid, rekening houdend met de nauwkeurigheid van de GxG waarden (de Gruijter *et al.*, 2004). Een belangrijk onderdeel binnen deze studie was het karteren van de grondwaterdynamiek (Gd). Voor het Gd-onderzoek voor waterschap Regge en Dinkel, beschreven in dit rapport, is aangesloten bij dit LNV-onderzoek. De aansluiting bij het LNV-onderzoek lag voor de hand, aangezien in dit kader veel informatie is verzameld die nodig is voor een Gt-actualisatie.

Als gevolg van de tegenvallende kwaliteit van de Gd-kaart is na overleg met het waterschap besloten de digitaal beschikbare detailkarteringen te gebruiken om de Gd-informatie voor deze gebieden te vervangen. Om dit op een zo goed mogelijke manier mogelijk te maken is er in het kader van deze studie een nieuwe interpolatietechniek ontwikkeld.

In het kader van een landelijke studie is een alternatieve methode voor het actualiseren van de Gt-informatie ontwikkeld. Bij deze neerschalingmethode is vooral getracht gebruik te maken van beschikbare patrooninformatie van de bodem en Gt. In de Gd-kaart kunnen namelijk patronen voorkomen welke niet plausibel zijn, waardoor de Gd-kaart niet geschikt is voor een aantal toepassingen die vooral gebaseerd zijn op patrooninformatie. Voorbeelden hiervan zijn kwel en wegzijging, berging en afvoer.

Voor het Gd-onderzoek is gebruik gemaakt van een punt dichtheid van 1 boring per 100 ha. Zonder gebruik te maken van hulpinformatie komt deze dichtheid overeen met een kaartschaal van 1 : 100 000 (Steur en Westerveld, 1964). Voor de bodemkaart van Nederland, schaal 1 : 50 000 zijn, afhankelijk van de ingewikkeldheid van het bodempatroon, 10 tot 25 boringen per 100 ha uitgevoerd (Steur en Heijink, 1991). Een detailkartering is een kartering van de bodem en de grondwatertrap op een meer gedetailleerde schaal (meestal schaal 1 : 5 000, 10 000 of 25 000). De

waarnemingsdichtheid varieert hierbij van ca. 2 boringen per ha (schaal 1 : 5 000) tot ca. 1 boring per 4 à 5 ha (schaal 1 : 25 000). Het gebruik van hulpinformatie in de vorm van maaiveld, slootdichtheden en bodemkundige informatie kan de informatiedichtheid vergroten. Aangezien bij de Gd-kartering gebruik is gemaakt van een gemiddelde punt dichtheid van 1 boring per 100 ha, hetgeen overeenkomt met een schaal 1 : 100 000, in combinatie met hulpinformatie met een hoge resolutie is de verwachting dat, met betrekking tot de kaartschaal, de waarnemingsdichtheid kan worden vergroot met een factor 10. Indien hiervan wordt uitgegaan heeft de Gd-kaart een kaartschaal van 1 : 50 000. Voor de gebieden waar detailkarteringen beschikbaar zijn en kunnen worden gebruikt is de kaartschaal 1 : 10 000.

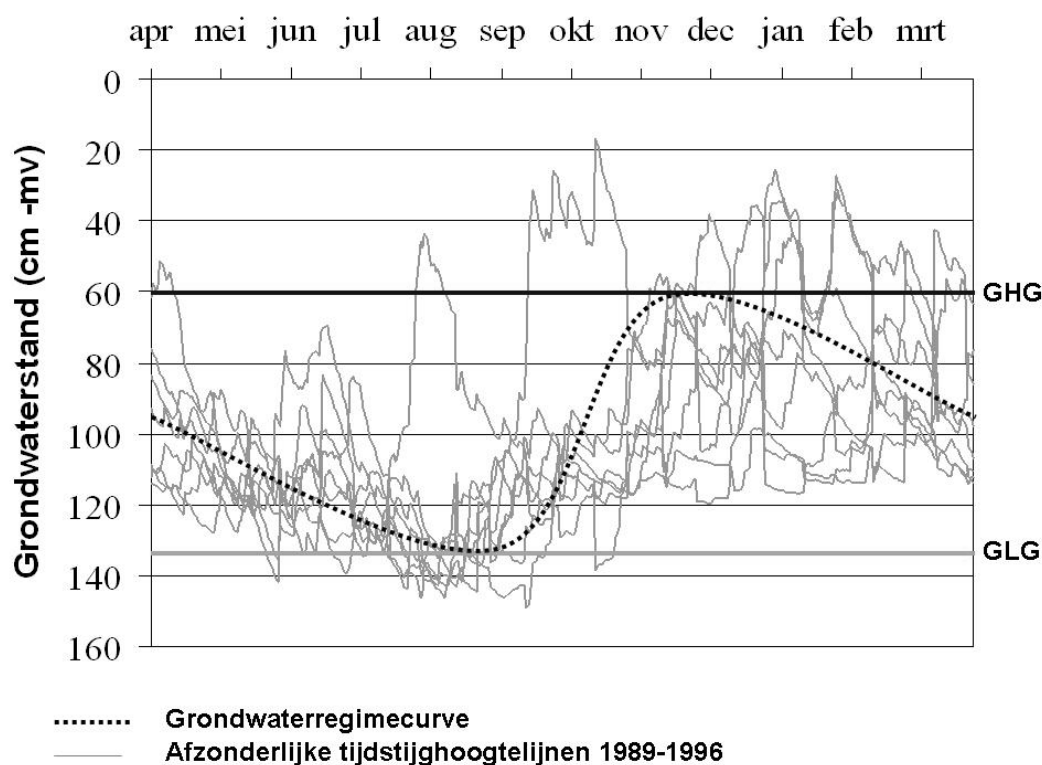
#### **1.4 Karakterisering van het grondwaterstandsverloop**

Het verloop van de grondwaterstand wordt van oudsher gekarakteriseerd met een grondwatertrap (Gt), die de fluctuatie en het niveau van de grondwaterstand t.o.v. maaiveld weergeeft. Als gevolg van variaties in de grondwateraanvulling, veroorzaakt door verschillen in neerslag, verdamping en wegzijging of kwel, en de verdeling hiervan, is het verloop van de grondwaterstand in een jaar, maar ook van jaar tot jaar verschillend. Dit is te zien in figuur 1.1, waarin de grondwaterstanden voor een aantal afzonderlijke hydrologische jaren zijn weergegeven. Door deze variatie zijn de jaarlijkse tijd-stijghoogtelijnen, die het grondwaterstandsverloop in een specifiek jaar weergeven, weinig hanteerbaar als karakteristiek van de grondwaterstand. De tijd-stijghoogtelijnen van de afzonderlijke hydrologische jaren (april t/m maart) werden daarom vervangen door een gemiddelde curve, die men kan beschouwen als de curve die het verloop weergeeft van de grondwaterstand in een jaar met gemiddelde weersomstandigheden (Stol, 1958; van Heesen, 1971). Door de jaren heen zijn er veel verschillende termen voor deze curve gehanteerd. In de 50-er jaren maakte men vooral gebruik van de term gemiddelde tijd-stijghoogtelijn. In de 70-er jaren is voornamelijk de term gemiddelde grondwaterstandscurve gehanteerd, terwijl recent gebruik wordt gemaakt van de term grondwaterregimecurve of kortweg regimecurve (Projectgroep Waternood, 1998; Vereniging voor Landinrichting, 2000). In deze studie wordt voor deze curve de term grondwaterregimecurve gehanteerd.

Bij de herleiding van de grondwaterregimecurve zijn een aantal aspecten van belang (Stol, 1960; Knibbe en Marsman, 1961; van Heesen en Westerveld 1966). De afzonderlijke tijdstijghoogtelijnen laten een geleidelijke daling van de grondwaterstand in het voorjaar zien. De bundel vernauwt zich dan opvallend. Na het bereiken van de laagste stand volgt tijdens de periode waarin de neerslag de verdamping gaat overtreffen, een snelle stijging. De snelheid van stijgen in de afzonderlijke jaren is nagenoeg constant, met andere woorden de lijnen lopen bij benadering evenwijdig. Alleen het tijdstip waarop deze stijging begint is meestal verschillend. De grondwaterregimecurve moet dan ook een stijgende tak hebben met dezelfde helling als de curven van de afzonderlijke jaren. De top en het dal van de grondwaterregimecurve geven het niveau aan tot waar de grondwaterstand gemiddeld in de winter stijgt (Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand, GHG) en in de zomer daalt (Gemiddeld

Laagste Grondwaterstand, GLG) (figuur 1.1) (Knibbe en Marsman, 1961; van Heesen en Westerveld 1966; van Heesen, 1971).

Het samenstellen van een grondwaterregimecurve was vroeger bewerkelijk en enigszins subjectief. Ondanks de automatisering blijkt het nu nog steeds moeilijk dergelijke grondwaterregimecurves automatisch te genereren. Aangezien men vroeger voor het karakteriseren van het grondwaterstandsverloop alleen de top en het dal uit de gemiddelde curve hanteerde, is gezocht naar een eenvoudiger werkwijze. Uit hydrologisch onderzoek in de 60er jaren is namelijk gebleken dat, wanneer gedurende een groot aantal jaren (minimaal 8) de grondwaterstand tweemaal per maand (op of omstreeks de 14<sup>e</sup> en de 28<sup>e</sup>) gemeten is, uit deze gegevens de top van de curve in de vorm van de GHG en het dal van de curve in de vorm van de GLG vrij eenvoudig te berekenen zijn (Knibbe en Marsman, 1961; van Heesen en Westerveld 1966; van Heesen, 1971). Deze worden berekend door het middelen van respectievelijk de drie hoogst gemeten (HG3) en de drie laagst gemeten (LG3) standen in een hydrologisch jaar, hetgeen proefondervindelijk is vastgesteld. (Knibbe en Marsman, 1961; Van der Sluijs en Van Egmond, 1976b). Om de GHG en de GLG te bepalen worden respectievelijk de HG3 en de LG3 over minimaal 8 hydrologische jaren gemiddeld.



Figuur 1.1 Tijdstijghoogte lijnen en grondwaterregimecurve over de jaren 1989-1998 op basis van dagwaarden voor hydrologische jaren (peilbuis 34DP0155) (naar: Van der Gaast en Massop, 2005b).

## 1.5 Begrippenkader

De karakterisering van de grondwaterstand is grotendeels gebaseerd op de grondwatertrap (Gt) en een aantal daarmee samenhangende gegevens. Dit heeft tot gevolg dat er gebruik wordt gemaakt van een aantal afkortingen en begrippen die specifiek zijn voor de kartering van de grondwaterstand en de Gt. De in dit rapport gebruikte afkortingen en begrippen worden hier kort toegelicht:

*Detailkartering* is een kartering van de bodem en de grondwatertrap op een gedetailleerde schaal (meestal schaal 1 : 5 000, 10 000 of 25 000).

*Grondwaterstand* is de stijghoogte van het freatische grondwater ten opzichte van het maaiveld op een bepaald tijdstip, gemeten in een boorgat of een peilbuis met een ondiep filter. Bij het begin van het karteren van de grondwaterstand werd gebruik gemaakt van grondwaterstandsbuizen met een lengte van 1,5 à 2 meter. In gronden met slecht doorlatende lagen ondieper dan 1,5 à 2 meter beneden maaiveld werden bovendien grondwaterstandsmetingen in kortere buizen gedaan, die met hun onderzijde tot net boven de betreffende laag werden geplaatst (Van Heesen en Westerveld, 1966). Van der Sluijs en van Egmond, 1976b geven aan dat er gemeten wordt in peilbuizen van circa 2 meter lengte. Later wordt gebruik gemaakt van peilbuizen met een lengte van 2 à 3 meter (Van der Sluijs, 1982). Terwijl tegenwoordig gebruik wordt gemaakt van peilbuizen met een maximale lengte van 6 meter (Finke *et al.*, 1994). In dit onderzoek is aangesloten bij andere GD onderzoeken en is gebruik gemaakt van peilbuizen met een lengte van over het algemeen minder dan 5 meter (Finke *et al.*, 1999);

*HG3* en *LG3* zijn de gemiddelde van de drie hoogste respectievelijk de drie laagste grondwaterstanden die in een hydrologisch jaar (1 april t/m 31 maart) worden gemeten, uitgaande van een halfmaandelijke meetfrequentie;

*VG3* is de gemiddelde grondwaterstand voor de meetdata 14 maart, 28 maart en 14 april in een bepaald kalenderjaar;

*xG3* staat in dit rapport voor de begrippen *HG3*, *VG3* en *LG3* tezamen;

*GHG* (Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand) is gedefinieerd als de top van de grondwaterregimecurve, welke doorgaans wordt berekend op basis van het gemiddelde van de *HG3*, voor een hydrologisch jaar, over een aaneengesloten periode van tenminste acht hydrologische jaren waarin geen waterhuishoudkundige ingrepen hebben plaatsgevonden;

*GLG* (Gemiddeld Laagste Grondwaterstand) is gedefinieerd als het dal van de grondwaterregimecurve, welke doorgaans wordt berekend op basis van het gemiddelde van de *LG3*, voor een hydrologisch jaar, over een aaneengesloten periode van tenminste acht hydrologische jaren waarin geen waterhuishoudkundige ingrepen hebben plaatsgevonden;

*GVG* (Gemiddelde Voorjaars Grondwaterstand) is gedefinieerd als het langjarig gemiddelde van de grondwaterstand op 1 april, welke doorgaans wordt berekend op basis van het gemiddelde van de *VG3* over een aaneengesloten periode van tenminste acht hydrologische jaren waarin geen waterhuishoudkundige ingrepen hebben plaatsgevonden;

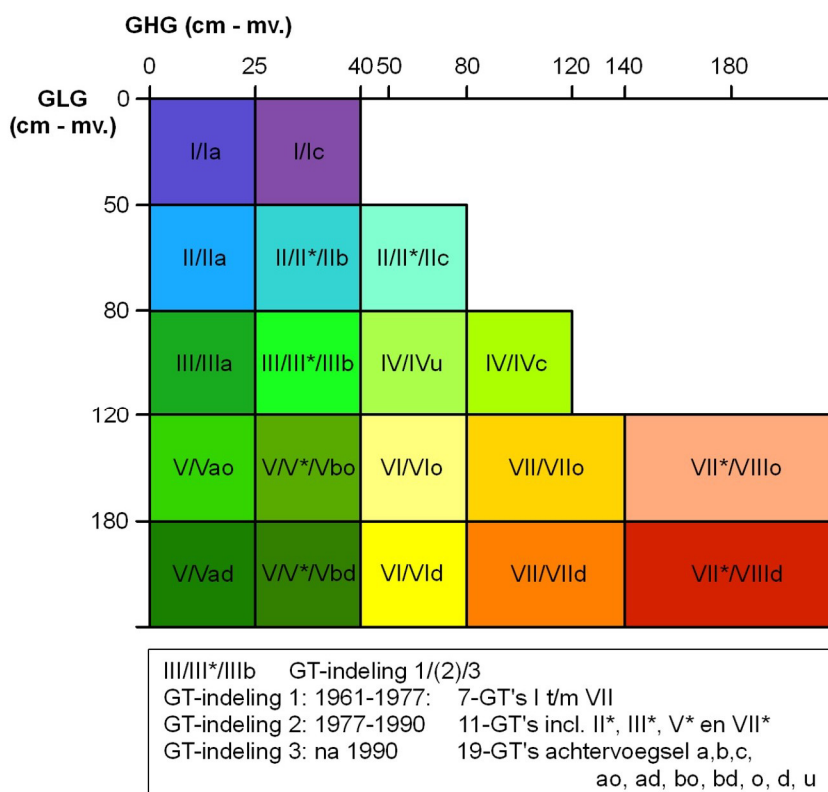
*GxG* staat in dit rapport voor de begrippen *GHG*, *GVG* en *GLG* tezamen;

Klimaatrepresentatieve GxG betekent in dit rapport: de GxG zoals die berekend zou kunnen worden uit metingen in de volgende situatie:

- (i) Over een aangesloten periode wordt gedurende 30 jaar op de 14e en 28e van elke maand de freatische grondwaterstand gemeten;
- (ii) Gedurende deze periode verandert er niets aan het huidige peilbeheer, de inrichting van het watersysteem, het debiet van grondwateronttrekkingen et cetera (geen nieuwe c.q. verandering in menselijke ingrepen);
- (iii) De GxG wordt op basis van deze gegevens berekend (eerst per hydrologisch jaar de HG3, VG3 (VG3 per kalenderjaar) en LG3, daarna het 30-jarig gemiddelde van de HG3, VG3 en LG3 resulteren in GHG, GVG en GLG).

De aldus verkregen GxG representeert het effect van de gehele weersvariatie binnen de klimaatperiode van 30 jaar, gegeven de huidige ontwateringsituatie.

De *Gt* (Grondwatertrap) is een typische combinatie van GHG- en GLG-klassen welke in de loop der jaren op de onderstaande wijze is onderverdeeld (figuur 1.2):



Figuur 1.2 Indeling in *Gt*'s op basis van de GHG en de GLG (naar: Van der Gaast en Massop, 2005a).

De *Gd* (Grondwaterdynamiek) is een combinatie van grondwaterstandsinformatie die bestaat uit de GxG, *Gt*, duurlijnen en regimecurves.

## 1.6 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt de gevolgde werkwijze bij de kartering van de grondwaterdynamiek (Gd) beschreven. In dit hoofdstuk is ook de eerste stap binnen de methode, bestaande uit de stratificatie beschreven. De beschrijving van de Gd-actualisatie methode is over meerdere hoofdstukken verdeeld, waardoor het gemakkelijker is om op basis van gevoeligheidsanalyses dieper in te gaan op belangrijke stappen binnen het actualisatieproces. In hoofdstuk 3 komt de selectie van peilbuizen aan de orde, en de berekening van de GxG uit de tijdreeksen die in deze peilbuizen zijn waargenomen. Hoofdstuk 4 gaat in op de selectie van de locaties waar de zogenaamde gerichte opnames worden verricht, en geeft een beschrijving van de wijze waarop voor deze locaties GxG's worden berekend. Hoofdstuk 5 beschrijft de gebiedsdekkende hulpinformatie, de topografie en de waterhuishouding van het gebied. Verder wordt in dit hoofdstuk beschreven hoe de gebiedsdekkende voorspellingen van de GxG tot stand komen. In hoofdstuk 6 is een nieuwe interpolatietechniek beschreven waarmee detailkarteringsinformatie op een gedetailleerd schaalniveau kan worden gegenereerd. Door gebruik te maken van de interpolatietechniek kan detailkarteringsinformatie gemakkelijk met de Gd-kaart worden gecombineerd om de Gd-kaart te verbeteren. Als gevolg van verlies aan patrooninformatie in de Gd-kaart is in hoofdstuk 7 een neerschalingmethode beschreven waarmee de Gt-informatie op eenvoudige wijze kan worden geactualiseerd. In hoofdstuk 8 is een validatie beschreven waarbij gekeken is naar verschillende Gt-gegevensbronnen. Vervolgens is in hoofdstuk 9 de vertaling van GxG informatie naar duurlijnen en regimecurves beschreven. In de laatste twee hoofdstukken zijn achtereenvolgens de discussie (hoofdstuk 10) en de conclusies (hoofdstuk 11) opgenomen.



## 2 De Gd-actualisatie: methode beschrijving

Dit hoofdstuk geeft in het kort de methode weer waarmee de grondwaterdynamiek wordt geactualiseerd. Deze methode is door Finke *et al.* (2002, 2004, 2005) en De Gruijter *et al.* (2004) beschreven. De beschrijving van deze methode in dit hoofdstuk en de hoofdstukken 4, 5 en 6 is gebaseerd op deze rapporten.

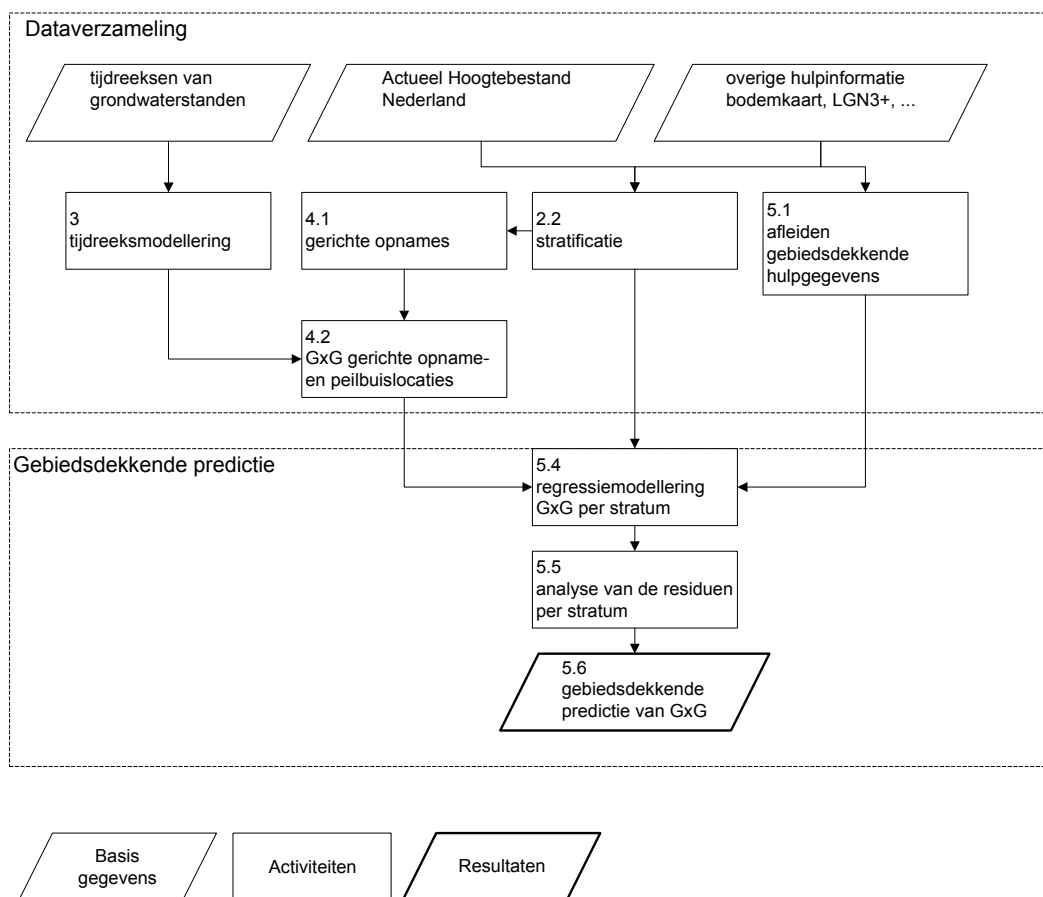
### 2.1 Schematische weergave van de werkwijze

De ontwikkelde methode bestaat uit de volgende fasen:

1. *Stratificatie*  
In deze eerste fase worden binnen het te karteren gebied hydrologisch homogene deelgebieden (strata) onderscheiden. Hierbij wordt gebruik gemaakt van voornamelijk bodemkundige en geologische informatie.
2. *Tijdreeksanalyse*  
Binnen de strata worden vervolgens tijdreeksen van grondwaterstandsgegevens voor stambuizen verzameld die door middel van tijdreeksanalyse worden omgezet naar een klimaatrepresentatieve GxG.
3. *Stambuisregressie*  
Om het meetnet te verdichten worden metingen uitgevoerd in boorgaten. In de boorgaten worden zogenaamde ‘gerichte opnamen’ uitgevoerd op tijdstippen dat de grondwaterstand zich rond GHG- of GLG-niveau bevindt. Middels stambuisregressie worden de gerichte opnamen vertaald naar een klimaatrepresentatieve GxG.
4. *Geostatistische interpolatie*  
Voor deze fase wordt gebiedsdekkende hulpinformatie over topografie en waterhuishouding verzameld. Vervolgens wordt de GxG’s ruimtelijk geïnterpoleerd tussen de meetpunten, gebruik makend van de gebiedsdekkende hulpinformatie.
5. *Karakterisering van het grondwaterstandsverloop*  
In deze fase wordt het geïnterpoleerde GHG- en GLG-vlak omgezet in Gt-vlakken, en worden deze cartografisch weergegeven. Naast het bepalen van de Gt worden duurlijnen en daggemiddelde regimecurves gegenereerd om het grondwaterstandsverloop te karakteriseren.

De globale werkwijze bij de gebiedsdekkende voorspelling van GxG is weergegeven in figuur 2.1 De nummers in de figuur verwijzen naar paragrafen of hoofdstukken in dit rapport, waarin een gedetailleerde beschrijving van de methoden wordt gegeven zoals die in een regionale Gd-kartering wordt toegepast.





Figuur 2.1 Stroomschema van de gevolgde werkwijze bij een Gd-kartering

## 2.2 Indeling van het gebied in homogene deelgebieden

Het onderscheiden van homogene deelgebieden wordt stratificatie genoemd. Het doel van de stratificatie is om de onzekerheid over de gebiedsdekkende voorspellingen van de GxG te reduceren. Er mag namelijk worden verondersteld dat binnen homogene deelgebieden de samenhang tussen de GxG en allerlei hulpinformatie sterker is dan in het gebied als geheel. Er worden deelgebieden (strata) onderscheiden op basis van eigenschappen die gerelateerd zijn aan hydrologie en maaiveldhoogte. Voor elk van de strata wordt de samenhang tussen de GxG en gebiedsdekkende hulpinformatie beschreven met een regressiemodel. Dit regressiemodel wordt gebruikt bij de gebiedsdekkende voorspelling van de GxG. De regressiemodellen voor de verschillende strata kunnen onderling aanmerkelijk verschillen. Daarnaast kunnen de verklarende variabelen in de regressiemodellen binnen een stratum ook verschillen voor de GHG, GVG en GLG.

Voor de stratificatie wordt de volgende gebiedsdekkende informatie gebruikt:

- de geologische kaart van Nederland, schaal 1 : 50 000 (TNO-NITG);
- de geomorfologische kaart van Nederland, schaal 1 : 50 000 (Alterra);
- het Actueel Hoogtebestand Nederland, AHN 25 × 25 meter (Adviesdienst Geoinformatie en ICT);
- de ligging van waterlopen volgens de topografische kaart van Nederland, Top10-Vector (Topografische Dienst);
- de Landelijke Grondgebruikskaat Nederland, LGN3+, 25 × 25 meter (Alterra);
- de Bodem- en Gt-kaart van Nederland, schaal 1 : 50 000 (Alterra).

Verder zijn voor het waterschap Regge en Dinkel aanvullende gegevens gebruikt die voor dit waterschap beschikbaar waren:

- gedetailleerde recente (vanaf ca. 1988) bodemkaarten, schaal 1 : 10 000 of schaal 1 : 25 000, die zijn vervaardigd voor bijvoorbeeld landinrichtingsprojecten (Alterra);

De bodem- en Gt-kaart van Nederland, schaal 1 : 50 000, vormt de basis voor de stratificatie. Indien nodig worden de kaartvlakken aan de hand van additionele informatie gesplitst. De stratificatie verloopt in drie stappen:

1. Er worden geohydrologische hoofdeenheden onderscheiden op basis van dagzomende geologische formaties;
2. De geohydrologische hoofdeenheden worden onderverdeeld in bodemkundig-hydrologische eenheden, op basis van de bodem- en Gt-kaart, en gegevens over het afwateringspatroon en de maaiveldhoogte. Hierbij wordt gelet op:
  - een indeling in Gt;
  - de aanwezigheid van leemlagen in de ondergrond;
  - de textuur van de bodem;
  - de aanwezigheid van grof zand in de ondergrond;
  - de intensiteit van afwateringspatroon.

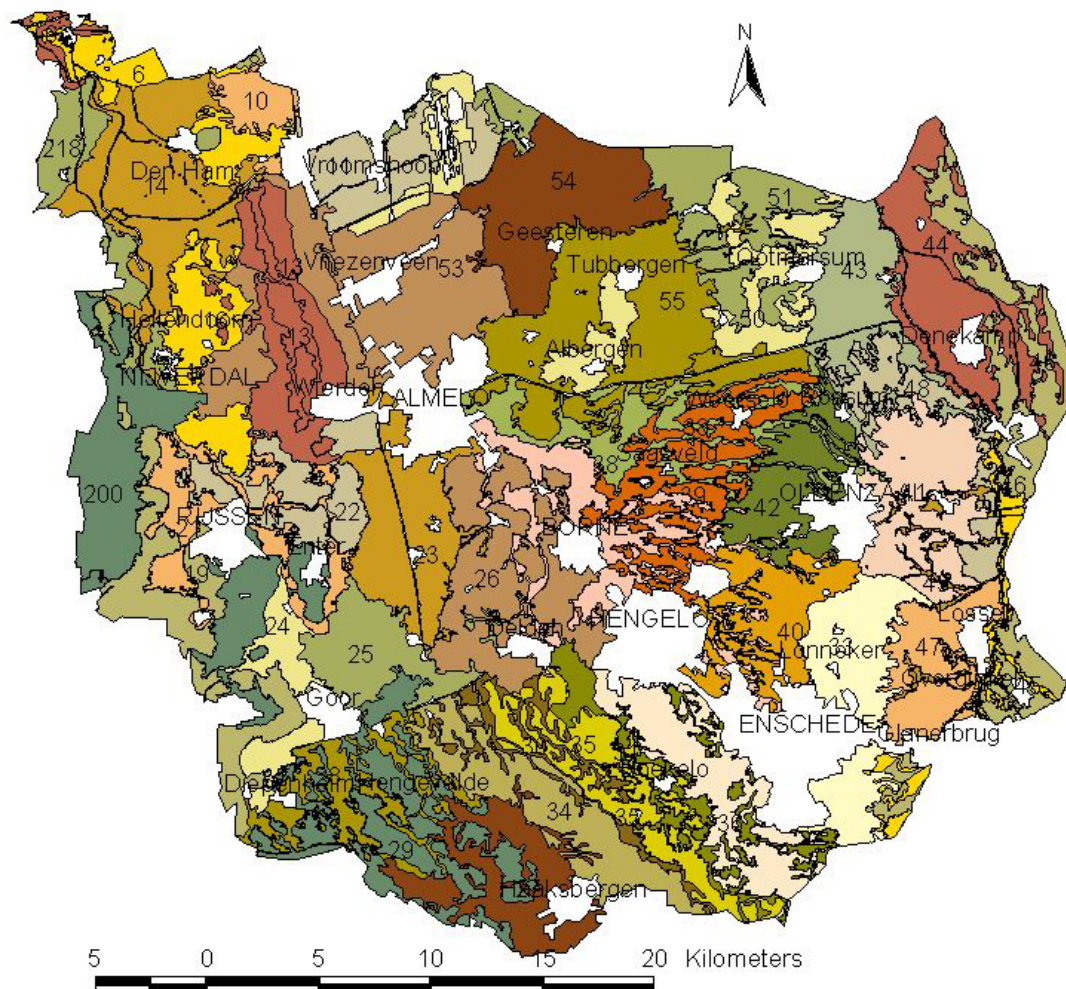
Voorbeelden van deze bodemkundig-hydrologische eenheden zijn:

- beekdalen;
  - droge zandgronden;
  - lemige gronden met stagnatie van grondwater door leemlagen.
3. In deze stap worden de uiteindelijke strata gevormd. Vlakken van bodemkundig-hydrologische eenheden worden samengevoegd tot strata, om tot meer aaneengesloten strata te komen en versnippering tegen te gaan. De strata zijn gemiddeld 3000 hectare groot (Finke *et al.*, 2002). In gebieden met grote bodemkundig-hydrologische verschillen kunnen strata echter kleiner zijn, terwijl in homogene gebieden de strata juist groter kunnen zijn.

## 2.3 Stratumindeling voor het waterschap Regge en Dinkel

Het waterschap Regge en Dinkel beslaat een oppervlakte van 134 667 ha. Het gebied bestaat globaal uit dekzanden, gestuwde rivierafzettingen, gestuwd keileem en (gestuwde) tertiaire mariene afzettingen. Voor deze regio heeft het waterschap aanvullende hulpinformatie geleverd. Omdat bij de stratificatie binnen het Gd project

geen rekening is gehouden met de grenzen van waterschappen, kunnen strata gedeeltelijk buiten de gebiedsgrens vallen. De regio bestaat in het totaal uit 45 strata (figuur 2.2). Ten opzichte van de oorspronkelijke stratificering zijn drie strata (12, 17 en 52) met andere strata samengevoegd, omdat in deze strata te weinig voorspellingen voor de GxG beschikbaar waren van de gerichte opname punten.



*Figuur 2.2 Strata binnen het waterschap Regge en Dinkel waarvoor een Gd-kaart is vervaardigd.*

### **3 Gd-actualisatie: tijdreeksmodellering**

#### **3.1 Selectie van grondwaterstandsreeksen**

De grondwaterstandsreeksen komen voor het overgrote deel uit de DINO-databank van NITG-TNO (van Bracht, 1988). Daarnaast zijn korte meetreeksen van grondwaterstanden aangeleverd door het waterschap. Hierna worden grondwaterstandsreeksen geselecteerd die geschikt zijn voor de berekening van de GxG, op basis van de volgende criteria:

1. de reeksen moeten zijn waargenomen in peilbuizen met een filter dat zich op maximaal vijf meter diepte bevindt;
2. de grondwaterstand t.o.v. maaiveld moet bekend zijn;
3. de plaatscoördinaten van de buislocatie moeten bekend zijn;
4. er moeten minimaal negen waarnemingen per hydrologisch halfjaar zijn verricht;
5. de meetreeks moet minimaal drie jaar lang zijn;
6. de meetreeks moet doorlopen tot minimaal een half jaar voor het begin van de kartering;
7. de afstand van de peilbuis tot een rivier of kanaal moet tenminste 40 m zijn;
8. de afstand van de peilbuis tot waterlopen en beken moet tenminste 20 m zijn;
9. de afstand van de peilbuis tot een watervoerende perceelssloot moet tenminste acht meter zijn;
10. het meetpunt mag niet worden beïnvloed door afstromend oppervlaktewater (zoals bijvoorbeeld nabij verharding), en mag zich niet bevinden in een kuil, op een dijk, een oprit, en dergelijke.

De criteria 7 tot en met 10 zijn getoetst in het veld.

#### **3.2 Overige grondwaterstandsreeksen**

Waterschappen en provincies exploiteren een aantal grondwaterstandsmeetnetten. Over het algemeen hebben deze meetnetten een tijdelijk karakter en zijn ingericht voor een specifiek doel. De gegevens die door waterschappen en provincies worden aangeleverd moeten tenminste voldoen aan criteria 1, 2 en 3 uit § 3.1. Afhankelijk van de waarnemingsfrequentie (criterium 4), de reekslengte (criterium 5) en de waarnemingsperiode (criterium 6) wordt besloten op welke wijze uit de gegevens de GxG wordt berekend. Als de gegevens voldoen aan de criteria die hierboven zijn gesteld dan wordt de GxG berekend met behulp van tijdreeksmodellering. In tegenstelling tot de peilbuizen uit het DINO-bestand worden de buizen uit de lokale meetnetten niet in het veld bezocht. Dit is een gevolg van de korte doorlooptijd tussen het beschikbaar komen van de gegevens en de kartering.

### 3.3 Berekening van de klimaatsrepresentatieve GxG

Voor de berekening van een klimaatsrepresentatieve GxG op peilbuislocaties worden tijdreeksmodellen gebruikt die de samenhang tussen het neerslagoverschot en de grondwaterstand beschrijven. Dit is nodig omdat maar zelden gedurende dertig jaar grondwaterstanden worden gemeten op een locatie, zonder dat het hydrologische regime in die periode wijzigt door ingrepen in de waterhuishouding. Deze modellen worden gebruikt om op basis van reeksen van neerslagoverschotten die door het KNMI gedurende tenminste dertig jaar zijn verzameld grondwaterstandsreeksen te simuleren. Uit deze gesimuleerde grondwaterstandsreeksen over perioden van 30 jaar kunnen klimaatsrepresentatieve variabelen, die representatief zijn voor de heersende hydrologische en klimatologische omstandigheden, zoals de GxG en Gt, worden berekend (Knotters en van Walsum, 1994), en kunnen tevens duurlijnen en daggemiddelde regimecurves worden geconstrueerd.

Het is gebleken dat een schatting van de GxG op basis van korte meetreeksen, afhankelijk van de weersomstandigheden, een vertekend (systematisch te nat of te droog) beeld van de grondwatersituatie kan geven ten opzichte van een klimaatperiode van dertig jaar. Daarom wordt voor elke meetreeks van grondwaterstanden middels tijdreeksanalyse eerst de afhankelijkheid tussen de grondwaterstand en het neerslagoverschot gemodelleerd. Uit een analyse van Knotters en Bierkens (1999) blijkt dat reeksen van vier tot acht jaar voor veel ondiepe grondwatersystemen lang genoeg zijn om de samenhang tussen het neerslagoverschot en de grondwaterstand te kunnen modelleren, en dat ook reeksen met een lengte van drie jaar in veel situaties nog zullen voldoen. Met dit tijdreeksmodel kunnen vervolgens klimaatsrepresentatieve schattingen van de GxG worden verkregen.

In het tijdreeksmodel dat de dynamische relatie tussen het neerslagoverschot  $p$  en de grondwaterstand  $b$  beschrijft bestaat de grondwaterstand op tijdstip  $t$  uit een som van twee componenten: een deterministische of transfercomponent,  $b_t^*$ , en een ruiscomponent,  $n_t$ ;  $b_t = b_t^* + n_t$ . De relatie wordt transfer-ruismodel genoemd. De deterministische component  $b_t^*$  is dat deel van de grondwaterstand dat kan worden verklaard uit een lineaire samenhang met het neerslagoverschot. De deterministische component  $b_t^*$  wordt geschat met de vorige grondwaterstandsmeting uit de tijdreeks en het neerslagoverschot tussen de huidige en de vorige meting. De ruiscomponent  $n_t$  bevat de resterende invloeden. Knotters (2001) toonde aan dat dit model eenvoudig fysisch is te verklaren en in veel situaties een goede beschrijving van de grondwaterstandsdynamiek geeft. Het transfer-ruismodel is ingebed in een Kalman-filter waardoor kalibratie op onregelmatig waargenomen grondwaterstandsreeksen mogelijk is (Bierkens *et al.*, 1999).

Het gebruik van alleen de deterministische component bij de simulaties zou leiden tot een onderschatting van de temporele variatie. Omdat zowel de GHG als de GLG extreme grondwaterstanden beschrijven, is het van belang dat de temporele variatie juist wordt gesimuleerd. Daarom wordt gebruik gemaakt van stochastische simulatie, (Knotters, 2001). Omdat de grondwaterstandsreeksen worden gesimuleerd door middel van stochastische simulatie, kan ook een inschatting van de nauwkeurigheid

van de berekende GHG en GLG worden aangegeven, welke door het niet verdisconteren van modelonzekerheid wordt overschat (Van der Gaast en Massop, 2003)

De coëfficiënten van het transfer-ruismodel worden gekalibreerd met het programma KALTFN (Bierkens e.a., 1999; Bierkens en Bron, 2000). De neerslaggegevens zijn afkomstig van het KNMI-neerslagstation dat zich het dichtst bij de peilbuis bevindt. De gegevens betreffende de referentie-gewasverdamping zijn eveneens afkomstig van het dichtstbijzijnde KNMI-hoofdstation.

Het dagelijkse potentiële neerslagoverschot  $p_t$  wordt berekend uit het verschil tussen dagneerslagsom ( $p_N$ ) en de etmaalverdamping voor een referentiegewas volgens Makkink ( $e_M$ ), zoals deze door het KNMI is gegeven (de Bruin, 1987):

$$p_t = p_{N,t} - e_{M,t} \quad (2.1)$$

Met het gekalibreerde tijdreeksmodel en de neerslagoverschotreks over dertig jaar worden voor elke peilbuislocatie 100 grondwaterstandsreeksen gesimuleerd over een periode van dertig jaar. Uit deze 100 gesimuleerde reeksen, waarbij alleen de stochastische component (witte ruis) varieert, wordt de GxG en zijn voorspelfout berekend. De berekening van de GxG uit de gesimuleerde reeksen over dertig jaar lang verloopt in drie stappen:

1. per hydrologisch jaar wordt het gemiddelde van de drie hoogste en laagste grondwaterstanden genomen (respectievelijk HG3 en LG3);
2. de dertig HG3's en LG3's worden gemiddeld tot een GHG en een GLG;
3. middeling van 100 GHG's en GLG's.

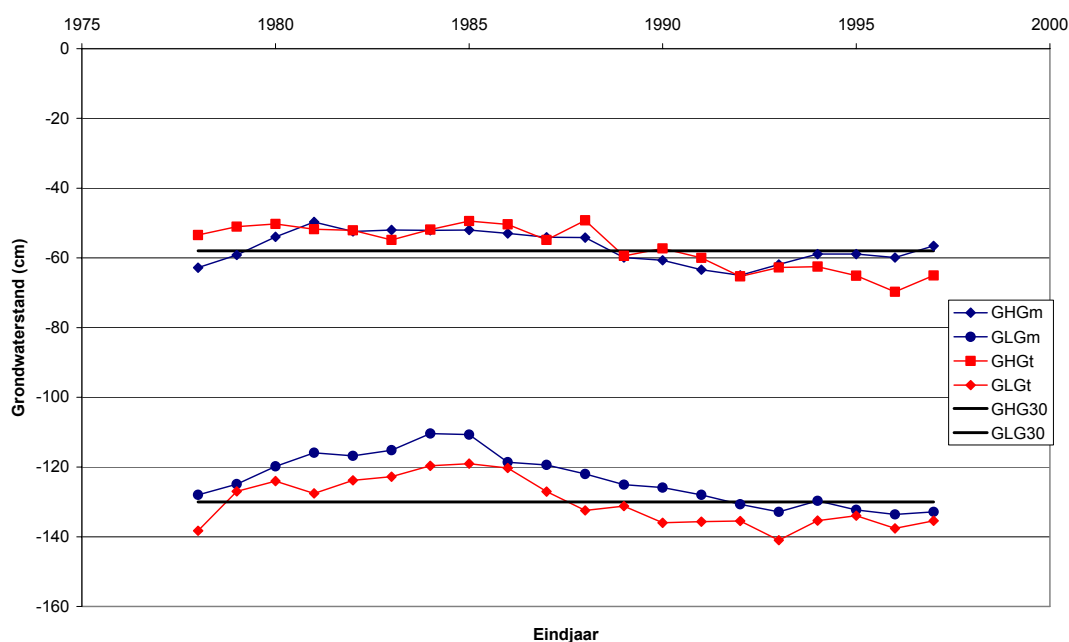
### 3.4 Gevoeligheidsanalyse lineaire tijdreeksmodellering

Om inzicht te krijgen in de onzekerheid van de berekende GHG en GLG op basis van lineaire tijdreeksanalyse is door Van der Gaast en Massop (2003, 2005c) gekeken naar het effect van de kalibratieperiode en het effect van verschillende meteogebieden. In dit onderzoek dat betrekking heeft op de technische aspecten van tijdreeksanalyse en derhalve niet specifiek is uitgevoerd voor waterschap Regge en Dinkel, zijn voor drie meetlocaties de GHG en de GLG voor verschillende periodes bepaald. In eerste instantie is de GxG op basis van de meetgegevens op de traditionele werkwijze bepaald. Om te kijken naar de invloed van het weer is de Gt voortschrijdend over 8 jaar berekend (figuur 3.1). In figuur 3.1 is de 8 jaarlijkse GxG voor het eindjaar weergegeven. Vervolgens zijn de berekende GHG en GLG's vergeleken met de berekening op basis van de gehele meetreeks. Uit de analyse blijkt dat de berekende GxG fluctueert rond het langjarig gemiddelde als gevolg van klimatologische omstandigheden.

Vervolgens is gebruik gemaakt van tijdreeksanalyse om de GxG klimaatrepresentatief te maken. Na het klimaatrepresentatief maken van de GxG mag men verwachten dat de berekende GxG ongeacht de kalibratieperiode ongeveer gelijk blijft. Om de

klimaatrepresentativiteit inzichtelijk te maken zijn er voortschrijdend tijdreeksmodellen gekalibreerd op meetperiodes van 8 jaar. Vervolgens is de GxG, zoals eerder beschreven, bepaald op basis van een simulatie van 30 jaar. De simulatieperiode is voor iedere calibratie gelijk genomen. De resultaten voor een van de drie meetpunten zijn eveneens weergegeven in figuur 3.1. Het betreft een meetpunt dat iets ten zuiden van het beheergebied van waterschap Regge en Dinkel ligt.

In figuur 3.1 is de fluctuatie als gevolg van drogere en natte jaren goed te zien. Er lijkt geen structurele verdroging te zijn voor dit meetpunt aangezien de berekende GHG en GLG over de eerste 8 jaar en over de laatste 8 jaar dicht bij het gemiddelde over 27 jaar ligt. In de tussenliggende jaren is er een fluctuatie rond het gemiddelde te zien. Indien gekeken wordt naar de analyse van de voortschrijdende tijdreeksresultaten is er ook een fluctuatie te zien rond het gemiddelde. In de voortschrijdende GxG afgeleid uit metingen en uit de tijdreeksanalyse is een fluctuatie te zien als gevolg van droge en natte jaren. Bij de tijdreeksresultaten lijkt de fluctuatie enigszins afgevlakt. Toch lijkt een klimaatrepresentatieve GxG op basis van een kalibratie over 8 jaar moeilijk te voorspellen. Een mogelijke verklaring hiervoor is het gebruik van lineaire tijdreeksmodellen, die voornamelijk gefit worden op 'het zwaartepunt' in de kalibratiedata. Dit heeft vermoedelijk tot gevolg dat de gekalibreerde tijdreeksparameters het beste passen bij het gemiddelde van de kalibratiedata. Indien de processen die de grondwaterstand beïnvloeden niet-lineair zijn, kan kalibratie op relatief natte of droge jaren verschillende uitkomsten geven bij langjarige simulaties.

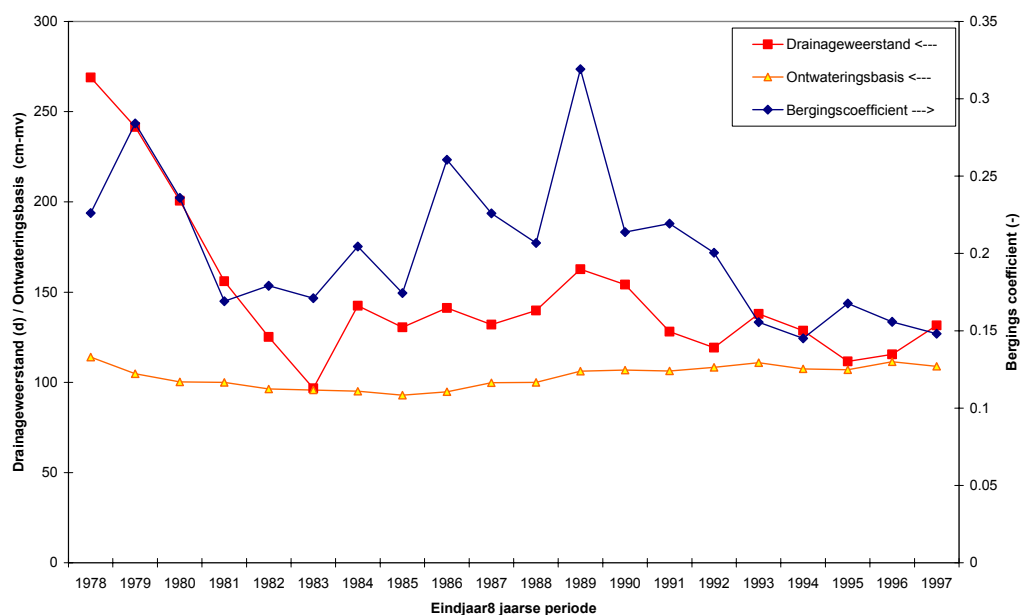


Figuur 3.1 GxG berekend op basis van metingen (m), tijdreeksanalyse (t) en de gehele meetreeks (30) voor meetpunt 34DP0155 (naar: Van der Gaast en Massop, 2003).

De GLG op basis van de tijdreeks ligt ten opzichte van de meetgegevens structureel lager. Een mogelijke verklaring voor dit fenomeen zijn de niet-lineaire processen

zoals drainage en berging. In figuur 3.2 zijn de fysisch geïnterpreteerde parameters van de voortschrijdende tijdreeksmodellen weergegeven. In de figuur komt tot uiting dat de gecalibreerde drainageweerstand en bergingscoëfficiënt afhankelijk is van de gebruikte grondwaterstandsmeetreeks. Voor de fysische interpretatie van tijdreeksen wordt verwezen naar Bierkens *et al.*, 1998 en Knotters en Bierkens, 1999.

Drainage vindt plaats naar nabijgelegen ontwateringsmiddelen die elk hun eigen drainagebasis hebben. Rond de meest voorkomende grondwaterstand zijn een aantal waterlopen in de omgeving watervoerend en drainerend voor het desbetreffende meetpunt. Indien bij de kalibratie de parameters worden gefit, die passen bij deze situatie, wordt geen rekening gehouden met bijvoorbeeld het droogvallen van waterlopen in drogere situaties, waarbij sterke niet-lineaire effecten kunnen voorkomen. Als gevolg van het droogvallen kan de drainageweerstand sterk toenemen waardoor de afvoer en de daarmee samenhangende daling van de grondwaterstand wordt afgeremd. Indien bij een tijdreeks-simulatie hiermee geen rekening wordt gehouden en dezelfde parameters worden gebruikt blijft de gecalibreerde drainageweerstand gelijk, waardoor de drainage en daarmee de daling van de grondwaterstand voor het desbetreffende punt in droge perioden te groot kan zijn. Hierdoor kunnen de lage grondwaterstanden te diep gesimuleerd worden, waardoor de gesimuleerde GLG structureel onder de gemeten GLG kan komen te liggen. Omgekeerd kan dit ook gelden voor de GHG. Indien de drainageweerstand te hoog wordt ingeschat voor natte situaties kan het water in de simulatie niet voldoende draineren, waardoor de GHG structureel te hoog kan worden ingeschat.



Figuur 3.2 De gecalibreerde ontwateringsbasis, bergingscoëfficiënt en drainageweerstand over de 8 jaarse perioden voor meetpunt 34DP0155 (naar: Van der Gaast en Massop, 2005c).

De fluctuatie van de voortschrijdend berekende GxG over 8 jaar vertoont grote overeenkomst met het voortschrijdend gemiddelde van het neerslagoverschot over 8 jaar. Voor meer informatie omtrent deze analyse wordt verwezen naar het onderzoek



van Van der Gaast en Massop uit 2003 en 2005c. De resultaten geven aan dat er een duidelijke beïnvloeding van het neerslagoverschot is op de berekende GHG en GLG. Ook bij het gebruik van tijdreeksen is de fluctuatie van de berekende klimaatsrepresentatieve GHG en GLG al snel enkele centimeters. De tijdreeksresultaten geven een geringe standaarddeviatie. De berekende standaarddeviatie neemt toe naarmate het meetpunt droger is. Uit de analyse blijkt dat de standaarddeviatie groter is indien deze wordt gebaseerd op voortschrijdend gekalibreerde tijdreeksmodellen. Het hoger uitvallen van de onzekerheid wordt veroorzaakt doordat er bij de tijdreeksanalyse geen rekening is gehouden met de onzekerheid in de parameters van het gekalibreerde model. Uit de analyse voor drie meetpunten blijkt dat een klimaatsrepresentatieve Gt moeilijk eenduidig is te voorspellen met lineaire tijdreeksmodellen.

Belangrijkste conclusies die door Van der Gaast en Massop (2003, 2005c) zijn getrokken zijn:

- De berekende standaarddeviatie is als gevolg van het niet verdisconteren van onnauwkeurigheden in de gekalibreerde parameters onderschat. Het komt er op neer dat we voor buislocaties de GHG kunnen bepalen met een standaarddeviatie van ongeveer 5 cm en de GLG met een onzekerheid van ongeveer 10 cm.
- Klimaatsrepresentatieve GxG's zijn moeilijk eenduidig te voorspellen met lineaire tijdreeksmodellen.
- Temporele verschillen in meteorologische omstandigheden hebben meer effect op de berekende GxG dan ruimtelijke verschillen in meteorologische omstandigheden indien gewerkt wordt met een waarnemingsfrequentie van de grondwaterstand van twee maal per maand.

### 3.5 Resultaten voor het waterschapsgebied

Binnen de grenzen van het waterschap zijn 94 stambuizen geselecteerd, waarop een tijdreeksanalyse is uitgevoerd. De resultaten van deze analyse, waaronder de geschatte GxG, de voorspelfout (sd) van de GxG en de tijdreeksparameters ( $\delta, \omega, \varphi$ ), zijn opgenomen als bijlage (Bijlage 1). Uit de GxG resultaten van de tijdreeksanalyse blijkt dat er maar 8 stambuizen zijn met een natte Gt (Gt I, II en III). Ook zijn er weinig buizen (5) met Gt V en V\*. De meeste stambuizen in het onderhavige gebied hebben een Gt VI en VII. Uit de ligging van de buizen blijkt, dat het merendeel (49) van de buizen voorkomen in de dekzandruggen. Dit blijkt ook uit de GxG schattingen met behulp van tijdreeksanalyse (meestal Gt VI, VII en VIII).

In de gebieden met keileem (grondmorene) in de ondergrond liggen 20 stambuizen. Dit is gezien het areaal en de complexiteit (vanuit hydrologisch oogpunt gezien) van het gebied een gering aantal. Deze gebieden karakteriseren zich door het veelvuldig voorkomen van storende lagen in het bodemprofiel, waardoor er schijnspiegels kunnen optreden. Daarnaast is ook de grondwaterberging in deze gronden gering, waardoor er grote fluctuaties in de grondwaterstand kunnen optreden. Uit de tijdreeksanalyse blijkt dit ook, want de meeste buizen met Gt V en V\* liggen in deze gebieden.

In de beekdalen liggen slechts 10 stambuizen. Het merendeel van de buizen (6) komt echter voor op de flanken van de beekdalen terwijl slechts 4 buizen gelegen zijn midden in de beekdalen. Uit de tijdreeksanalyse blijkt, dat deze laatste 4 buizen zoals verwacht de natste stambuizen zijn (Gt I, II en III).

Uit de tijdreeksanalyse volgt ook, dat de voorspelfout van de GxG 1 tot enkele centimeters bedraagt. Uit de voorgaande analyse volgt, dat deze fout doorgaans aanzienlijk wordt onderschat omdat modelonzekerheid niet wordt meegenomen. Dit betekent, dat op basis van deze kleine voorspelfouten een te hoge nauwkeurigheid van de voorspelde GxG wordt gesuggereerd.



## 4 Gd-actualisatie: de GxG op gerichte opnamelocaties

### 4.1 Gerichte opnamen

Tijdens de kartering worden grondwaterstanden gemeten in een groot aantal boorgaten, op vooraf vastgestelde locaties en tijdstippen. Omdat zowel het tijdstip als de locatie van de opnames vooraf worden bepaald, wordt er gesproken van twee ‘gerichte opnames’. Reeds in de COLN periode werd incidenteel bij twijfel over de juistheid van de gekarteerde grondwaterstand gebruik gemaakt van waarnemingen in boorgaten teneinde deze te kunnen vergelijken met profielkenmerken (Stol, 1958).

Het doel van de gerichte opnames in deze studie is om het net van GxG's te verdichten, zodat er uiteindelijk voldoende GxG waarnemingen beschikbaar zijn om de statistische relatie met maaiveldhoogten en daarvan afgeleide eigenschappen te kunnen analyseren (hoofdstuk 5). Hiertoe is het nodig dat binnen elk stratum voor tenminste twintig locaties GxG-waarden bekend zijn. Een aanvullende eis is dat deze locaties ruimtelijk gelijkmatig zijn verspreid over het stratum en over de droge en natte terreindelen die in het stratum voorkomen. De locaties worden als volgt gekozen:

1. voor elk stratum wordt bepaald hoeveel waarnemingen er worden gedaan (minimaal twintig);
2. met het Top10-Vectorbestand en het AHN wordt een kaart van de drooglegging gemaakt met voor elke  $25 \times 25\text{m}$ -pixel een drooglegging (zie § 5.2);
3. de droogleggingen, of indien deze niet beschikbaar zijn, de Gt-klassen, worden per stratum gesorteerd van nat (ondiep) naar droog (diep);
4. de gesorteerde droogleggingen of Gt's worden in een aantal klassen verdeeld dat gelijk is aan het aantal waarnemingen in het stratum. De klassebreedten zijn kleiner in ‘natte’ dan in ‘droge’ terreindelen, waardoor relatief veel opnames in natte terreindelen plaatsvinden;
5. per klasse worden één waarnemingslocatie en twee reservelocaties random geloot.

Er wordt tweemaal gemeten: eenmaal in de winter, als de grondwaterstand zich rond het GHG-niveau bevindt, en eenmaal in de zomer, als de grondwaterstand zich rond het GLG-niveau bevindt. Tijdens het veldwerk worden boorgaten gemaakt tot tien cm onder het grondwaterniveau (maar niet dieper dan 2,50 m -mv). Na een instelperiode (1-3 dagen) wordt de grondwaterstand gemeten.

Bij de benadering van de GxG met gerichte opnamen werd voorheen verondersteld dat de grondwaterstand in gronden met gelijke Gt's en fluctuatie van de grondwaterstand, overal op hetzelfde tijdstip op het niveau van de GHG of de GLG zou zijn. Het tijdstip waarop dit het geval is werd vastgesteld bij een of enkele stambuizen. Op dat tijdstip werden een groot aantal boorgaten bemeaten. Een zwak punt van deze methode was dat er van uitgegaan werd dat het gebied ‘hydrologisch homogeen’ zou zijn. Hierbij werd verondersteld dat de grondwaterstand zich overal

gelijktijdig op het niveau van de GHG en GLG bevond. Dit impliceert dat de grondwaterstanden binnen het beschouwde gebied overal synchroon verlopen. Door verschillen in bergingsvermogen, doorlatendheid, dichtheid van de ontwateringsmiddelen en geo(hydro)logische opbouw van de ondergrond kunnen al op relatief korte afstand meer of minder grote verschillen in het grondwaterstandsverloop voorkomen. Zo hebben natte gronden met een geringe berging, doorgaans een dicht ontwateringssysteem en vaak kwel. Hierdoor reageren natte gronden veelal sterker op neerslag en verdamping dan droge gronden. Dit betekent dat het uitgangspunt van de gerichte opname, het alom gelijktijdig bereiken van het GHG en GLG niveau, zich lang niet overal voordoet (Ten Cate *et al.*, 1995). Hierom is de methode aangepast, door uit te gaan van een set van stambuizen die de belangrijkste variatie in hydrologische omstandigheden (geohydrologie en ontwateringsniveau) representeren. Dit wil zeggen dat er gebruik moet worden gemaakt van een stambuizen-set die alle Gt's omvat. Hierbij moet echter worden opgemerkt dat eenzelfde Gt door verschillende omstandigheden kan voorkomen. Een natuurlijke Gt VI zal anders reageren op neerslag dan een kunstmatige Gt VI, ontstaan als gevolg van buisdrainage uit een Gt III.

## 4.2 Berekening van de GxG op gerichte opnamelocaties

Om de gemeten grondwaterstanden te transformeren naar GxG wordt gebruik gemaakt van stambuisregressie. Bij de stambuisregressie wordt op basis van metingen in meerdere buizen een regressiemodel opgezet (Te Riele en Brus, 1991). Op de tijdstippen van de gerichte opnames zijn ook grondwaterstanden gemeten in een aantal peilbuizen waarvan de GxG's zijn berekend. Deze peilbuizen liggen idealiter in de directe omgeving van de meetpunten, en vertegenwoordigen samen alle grondwatertrappen. In de praktijk worden op een bepaalde meetdag uitgestrekte gebieden bemeten, en ligt de set peilbuizen die samen alle grondwatertrappen vertegenwoordigd ook over een groot gebied verspreid. Het aantal peilbuizen, waarin per meetdag wordt gemeten, varieert tussen de 15 en 25. Hiermee is het mogelijk om op basis van deze set buizen voor de dag van de gerichte opname een regressierelatie te bepalen tussen de op die dag gemeten grondwaterstand en de bijbehorende GxG. De regressierelatie heeft de volgende algemene vorm:

$$GxG = \beta_0 + \beta_1 \cdot x_1 + \varepsilon \quad (4.1)$$

waarbij  $x_1$  de wintergrondwaterstand of de zomergrondwaterstand is en GxG de GHG of GLG in een peilbuis is;  $\beta_i$  ( $i=0, 1$ ) zijn de regressieparameters en  $\varepsilon$  is de fout bij de regressie.

Met het stambuisregressiemodel wordt de GxG voorspeld uit grondwaterstands-waarnemingen die tijdens de gerichte opname zijn verricht en worden de voorspelfouten van deze voorspellingen berekend. De voorspelfouten van de GxG-voorspellingen op puntniveau worden ook wel aangeduid als pseudomeetfouten en voor deze meetfouten kan in de verdere verwerking worden gecorrigeerd (zie § 5.5).

### ***Diepe grondwaterstanden***

Soms wordt de grondwaterstand niet waargenomen binnen de maximale boordiepte van 2,50 meter. Dit noemen we ‘een gecensureerde waarneming’: de precieze waarde is onbekend, maar wel is bekend dat de waarneming ‘dieper dan’ een grenswaarde is. In deze situatie kiezen wij voor de benadering die door Cohen (1991) is beschreven. Eerst wordt een *maximum likelihood*-schatting gemaakt van de grondwaterstand. Daarbij wordt de code ‘> 2,50’ vervangen door de meest waarschijnlijke diepte groter dan 2,50 m. De meest waarschijnlijke diepte is afhankelijk van de verdeling van de overige meetpunten op die datum. Bij een smalle verdeling is de *maximum likelihood*-schatting net iets dieper dan de 2,50 meter en bij een brede verdeling veel dieper dan 2,50 m. Per meetdatum zijn alle *maximum likelihood*-schatting hetzelfde, waardoor de schatting afhankelijk is van de meetdatum. Dit getal wordt vervolgens ingevoerd in de regressievergelijking. De check op gecensureerde waarnemingen en de vervanging met het meest waarschijnlijke getal is standaard ingebouwd in het computerprogramma waarmee de GxG wordt voorspeld.

## **4.3 Gevoeligheidsanalyse stambuisregressie**

Om inzicht te verkrijgen in de mogelijke relaties tussen een gemeten stand op een bepaalde dag en de berekende GxG is in het kader van een landelijke studie naar deze relatie onderzoek gedaan (Van der Gaast en Massop, 2003). In bijlage 2 zijn de relaties weergegeven die zijn bepaald voor 24 verschillende meetdata in 1995. Voor het opzetten van de relaties is in de eerdergenoemde studie gebruik gemaakt van 99 stambuislocaties in één deelgebied (het centrale deel van Overijssel (figuur 4.2)), waarvoor de tweemaandelijks metingen op de 14<sup>e</sup> en de 28<sup>e</sup> van de maand zijn uitgezet tegen de GxG. Om eventuele problemen met ontbrekende gegevens en verschillende meetdata te voorkomen zijn de gegevens gegenereerd op basis van tijdreeksanalyse met updating<sup>1</sup>.

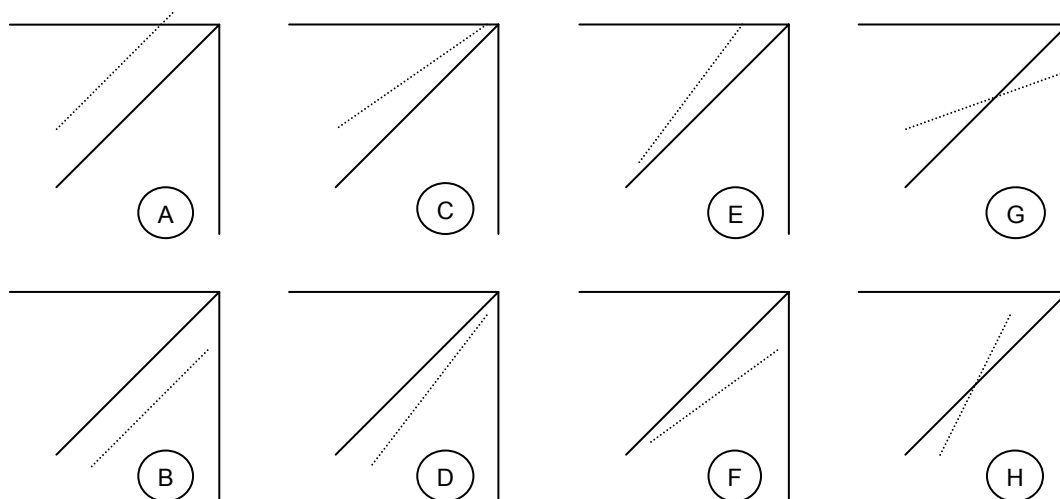
In figuur 4.1 zijn de situaties die voor kunnen komen bij de enkelvoudige stambuisregressie schematisch weergegeven. Het betreft de mogelijke relaties tussen een meetdatum en de voorspelling van de GxG. (x-as meting, y-as voorspelling). De situaties zijn weergegeven ten opzichte van de 1 op 1 lijn. Indien op een meetdatum de te natte of te droge omstandigheden overal gelijktijdig en in gelijke mate zich voordoen zouden we een lijn zien welke parallel aan de 1 op 1 lijn loopt (situatie A meetdatum droger, Situatie B meetdatum natter). In tabel 4.1 is de situatie weergegeven van de meetdatum voor de mogelijke relaties uit figuur 4.1.

Door verschillen in bergingsvermogen, doorlatendheid, dichtheid van de ontwateringsmiddelen, ontwateringsdiepte en geo(hydro)logische opbouw van de ondergrond kan de grondwaterstandsfluctuatie verschillen, waardoor de relatie niet meer parallel aan de 1 op 1 lijn verloopt.

---

<sup>1</sup> Updating is de term die gebruikt wordt voor het bijstellen van de gesimuleerde tijdreeks op tijdstippen dat er een meting beschikbaar is.

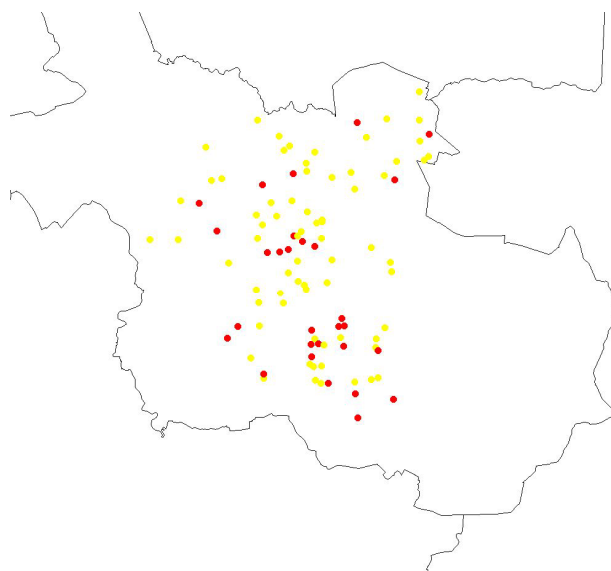
De onzekerheid van de GxG op de locaties met een gerichte opname wordt bepaald op basis van de regressierelatie. Om meer inzicht te krijgen in de stambuisregressie en de berekende onzekerheid is deze nader onderzocht. Hiervoor zijn uit een totale set van 99 stambuizen random 29 buizen geselecteerd. De overige 70 locaties zijn gebruikt als validatiepunten (figuur 4.2).



Figuur 4.1 Mogelijke relaties tussen de stand op een meetdatum en de GxG (naar: Van der Gaast en Massop, 2003).

Tabel 4.1 Verschil van de metingen tov GxG (naar: Van der Gaast en Massop 2003).

|            |                     |                     |                             |
|------------|---------------------|---------------------|-----------------------------|
| A Te droog | C Lage gws te droog | E Hoge gws te droog | G Hoog te nat Laag te droog |
| B Te nat   | D Lage gws te nat   | F Hoge gws te nat   | H Hoog te droog Laag te nat |



Figuur 4.2 Overzicht van de stambuislocaties in het centrale deel van Overijssel (Analyse: rood=stambuis en geel=fictief opnamepunt).

De 29 random geselecteerde buizen vormen de stambuizenset, terwijl de overige 70 locaties gezien kunnen worden als gerichte opname-meetpunten. Voor deze locaties zijn de standen op de 14<sup>e</sup> en de 28<sup>e</sup> van de maand beschikbaar. Op basis van de resultaten in bijlage 2 kan geconcludeerd worden dat de voorspelling van de GxG afhankelijk is van de meetdatum. Dit aspect is nader onderzocht door de GxG meerdere malen te voorspellen. Voor de wintergrondwaterstanden is uitgegaan van 8 meetdata te weten de twee maandelijks metingen (14<sup>e</sup> en 28<sup>e</sup>) voor de maanden januari t/m april. Voor de zomermeting is eveneens uitgegaan van 8 mogelijke metingen in de maanden juli t/m oktober. In figuur 4.3 en 4.4 zijn de resultaten van de voorspellingen van respectievelijk de GHG gebaseerd op de 8 winterwaarden en de GLG gebaseerd op de 8 zomerwaarden weergegeven. Het betreft voorspellingen van de GxG voor 70 buislocaties. De GxG is voorspeld op basis van modellen die zijn afgeleid uit de gemeten standen voor de 29 geselecteerde buizen. In de figuren is duidelijk te zien dat er een grote variatie is in de voorspelde GxG. Doordat er gebruik is gemaakt van meerdere meetdata voor de voorspelling van de GxG, kunnen er verticale rijen van punten ontstaan. De verticale rijen hebben dus betrekking op eenzelfde locatie waarvoor meerdere voorspellingen (8) zijn gedaan. De meetdatum blijkt in hoge mate bepalend voor de voorspelde GxG (Van der Gaast en Massop, 2003; Hoogland *et al.*, 2004).

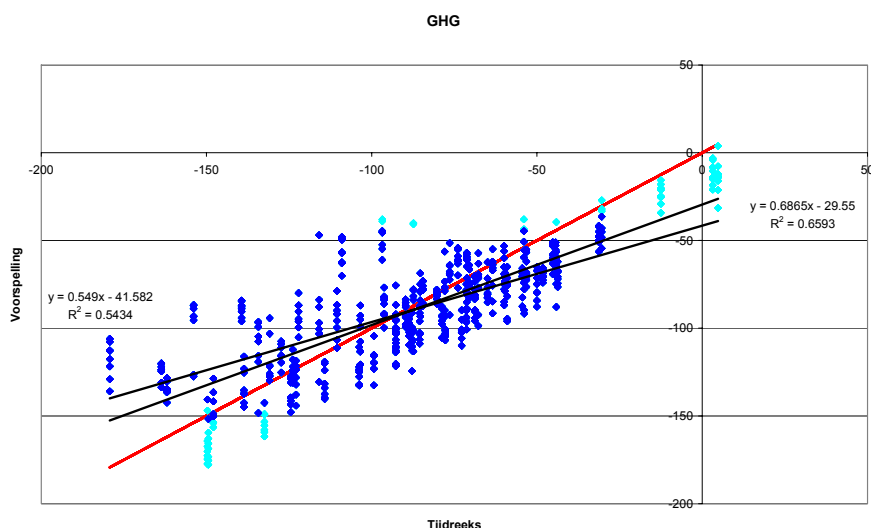
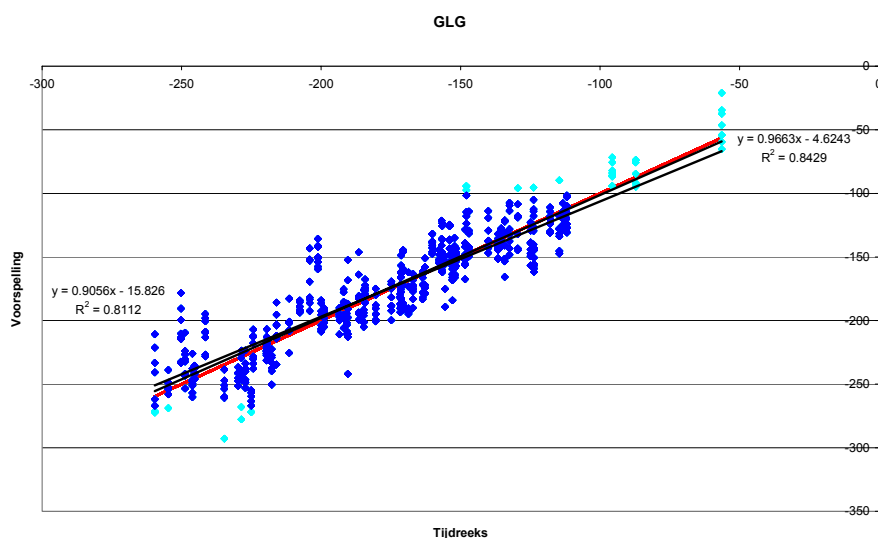


Fig 4.3 Relatie tussen de GHG gebaseerd op tijdsreeksmodellering (met updating) en de voorspelde GHG gebruikmakend van stambuisregressie op basis van meerdere meetdata. (licht gekleurde punten voldoen niet aan een extrapolatiecriterium)(naar: Van der Gaast en Massop, 2003).

In figuur 4.3 is tevens te zien dat de voorspelde GHG's afwijken van de 1 op 1 lijn (rode lijn), welke men zou verwachten. Naast de 1 op 1 lijn zijn twee regressielijnen bepaald. De steilste regressielijn is de lijn die is bepaald door gebruik te maken van alle voorspelde GHG's. De regressie heeft betrekking op 8 voorspellingen op 70 locaties (dus n=560). Bij de vlakker verlopende lijn is rekening gehouden met een extrapolatiecriterium en zijn de voorspellingen die niet voldoen aan het extrapolatiecriterium buiten beschouwing gelaten (de lichtblauwe punten zijn dus niet meegenomen). Het criterium waarmee wordt vastgesteld of er al dan niet sprake is



van extrapolatie bij het toepassen van een regressiemodel is  $x_0'(X'X)^{-1}x_0 > 2p/n^2$  (Oude Voshaar, 1994). Indien rekening gehouden wordt met het extrapolatiecriterium is het bereik van de voorspellingen geringer. De voorspellingen waarbij wordt geëxtrapoleerd liggen over het algemeen in het uiterste bereik van het gemeten grondwaterstandstraject. De hellingshoek van de regressielijnen is geringer dan  $45^\circ$ , wat betekent dat de uitersten minder goed worden voorspeld. Dit heeft tot gevolg dat de voorspelde GxG's een geringe spreiding hebben en de voorspelde waarden enigszins worden afgevlakt in de richting van het gemiddelde. Deze afvlakking wordt ook wel 'regression to the mean' genoemd en is het gevolg van het feit dat voorspellingen naar het midden toe worden getrokken doordat de regressielijn vlakker verloopt naarmate de regressierelatie zwakker is. Deze afvlakking naar het gemiddelde is voor de gemiddeld hoogste grondwaterstand veel sterker dan voor de gemiddeld laagste grondwaterstand (Van der Gaast en Massop, 2003).



Figuur 4.4 Relatie tussen de GLG gebaseerd op tijdreeksmodellering (met updating) en de voorspelde GLG gebruikmakend van stambuisregressie op basis van meerdere meetdata. (licht gekleurde punten voldoen niet aan een extrapolatiecriterium) (naar: Van der Gaast en Massop, 2003).

#### 4.4 Plausibiliteitstoets gerichte opnames in het waterschapsgebied

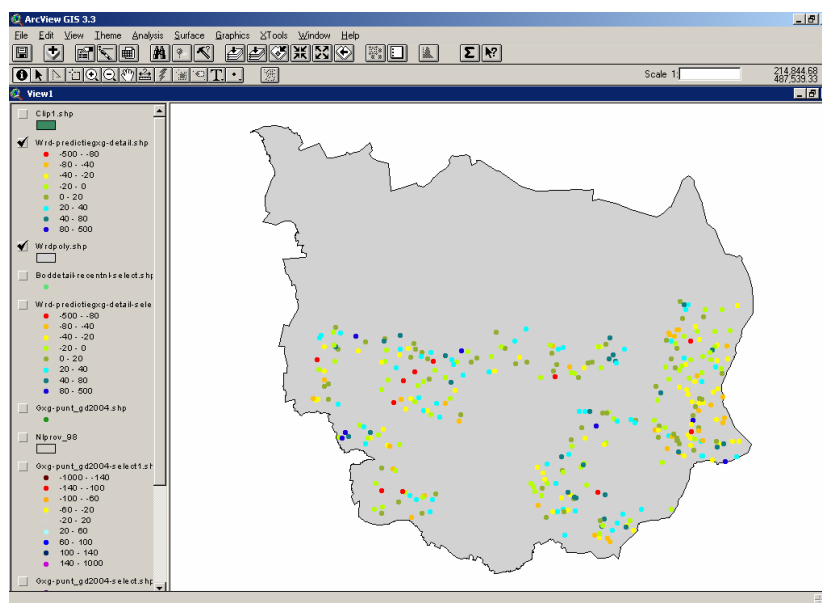
Om inzicht te krijgen in de kwaliteit van de gerichte opnames zijn de resultaten vergeleken met detailkarteringen. In het beheergebied van het waterschap Regge en Dinkel zijn in de jaren 90 acht detailkarteringen (schaal 1 : 10 000) uitgevoerd. Voor deze karteringen zijn ruim 36 000 boringen verricht binnen een oppervlakte van 37 502 ha. Dit komt overeen met een areaal van ongeveer 27.9% van het gehele beheergebied (134 667 ha). De gebruikte detailkarteringen zijn grotendeels uitgevoerd in de periode 1988 – 1998. Deze periode komt ongeveer overeen met de periode waarin de meetgegevens liggen die gebruikt zijn bij de tijdreeksanalyse.

<sup>2</sup>  $p$  is het aantal regressiecoëfficiënten (inclusief de constante),  $n$  is het aantal waarnemingen waarop het model is gefit,  $x_0$  is de vector met lengte  $p$  waarin  $p-1$  verklarende variabelen van het regressiemodel en de regressieconstante zijn opgenomen en  $X$  is de  $(n \times p)$  matrix met de  $p$  verklarende variabelen als kolommen en de  $n$  waarnemingen als rijen.

### ***Vergelijking GHG***

Voor de GHG lijkt er op basis van de histogram (Bijlage 3) geen groot systematisch verschil te zijn tussen de gerichte opname punten en de detailkarteringspunten. Het gemiddelde verschil is 1.8 cm natter en de standaarddeviatie van het verschil is 40.1 cm. De spreiding blijkt echter wel groot. Het merendeel van de punten heeft een verschil ten opzichte van de detailkartering van plus of min 20 cm. Het betreft ruim 40% van de gerichte opnamepunten. Ongeveer 35% van de punten heeft een verschil met de detailkartering tussen 20 en 40 cm. De overige 25% van de gerichte opnamepunten heeft een verschil van 40 cm of meer. In de onderstaande kaart zijn de gerichte opnamepunten weergegeven die binnen de recent uitgevoerde detailkarteringen liggen. Voor de analyse is de GxG die bepaald is aan de hand van de gerichte opname afgetrokken van de gekarteerde GxG van het 1 : 10 000 kaartvlak. De GxG van het kaartvlak is bij de detailkartering bepaald door per polygoon de geschatte GxG op puntlocaties te middelen. De kleur van de gerichte opnamepunten komt overeen met de gebruikte kleuren in de staafdiagram (Bijlage 3). De blauwe punten geven aan dat de gerichte opnamepunten natter zijn. In het kaartje (figuur 4.5) is te zien dat de verschillen over het gehele gebied voor kunnen komen en niet gerelateerd zijn aan bepaalde detailkarteringen of gebieden.

Om meer inzicht te krijgen in de verschillen zijn de GHG bepalingen tegen elkaar uitgezet (bijlage 3). De figuur geeft eveneens aan dat er bijna geen systematisch verschil is tussen beide gegevensbronnen. Daarnaast is te zien dat de spreiding niet echt gerelateerd is aan het GHG niveau. De spreiding is voor het gehele bereik van 0 tot 150 cm ongeveer gelijk. De standaarddeviatie van het verschil is 35 cm



*Figuur 4.5 Ligging van de gerichte opnamepunten binnen een detailkartering (GHG)*

### ***Vergelijking GLG***

Voor de GLG lijkt het verschil tussen de gerichte opnamepunten en de detailkarteringen uit de jaren 90 niet normaal verdeeld. Het verschil is gemiddeld 11.1

cm droger. De standaarddeviatie van de verschillen is 43.8 cm. Ongeveer 30% van de punten heeft een verschil kleiner dan 20 cm. Ruim 30% van de meetpunten heeft een verschil van 20 tot 40 cm en grofweg 35% van de punten heeft een verschil van 40 cm of meer. De verschillen van 40 cm of meer liggen grotendeels aan de droge kant. De gerichte opnamepunten blijken gemiddeld droger dan de in de jaren '90 uitgevoerde detailkarteringen.

Om meer inzicht te krijgen in de verschillen zijn evenals bij de GHG de GLG bepalingen tegen elkaar uitgezet (Bijlage 3). De figuur geeft aan dat er geen systematisch verschil is. Evenals bij de GHG kruist de regressielijn de 1 op 1 lijn. Daarnaast lijkt het er op dat de spreiding toeneemt naarmate de GLG dieper is.

### ***Nadere analyse van de meetlocaties***

Voor de meetlocaties met een relatief grote afwijking ten opzichte van de detailkarteringen is bekeken in hoeverre er een relatie bestaat met bijvoorbeeld de meetdatum of de Gt. Uit de analyse van de meetgegevens is naar voren gekomen dat er geen duidelijke verband lijkt te zijn tussen het verschil met de detailkartering en een bepaalde meetdatum of een bepaalde Gt. Deze analyse heeft er uiteindelijk toe geleid dat er een aantal locaties zijn geselecteerd die bezocht zijn in het veld. In bijlage 4 is het indertijd gemaakte verslag opgenomen. De belangrijkste bevinding van het veldbezoek is dat er gerichte opnamen zijn uitgevoerd die niet representatief zijn in ruimte en/of tijd.

De meeste metingen lijken mogelijk, maar zijn niet altijd representatief. Het kan hierbij gaan om een slecht meetmoment waardoor de meting niet representatief is in de tijd. Een duidelijk voorbeeld hiervan is het meetpunt in een gedraineerd perceel (bijlage 4), waar een stand is gemeten van 28 cm -maaveld. Nader onderzoek heeft uitgewezen dat het de dag voorafgaand aan de meting ongeveer 20 mm had geregend. Een dergelijke neerslaghoeveelheid gecombineerd met een bodem met relatief weinig berging maakt het mogelijk dat de grondwaterstand kortstondig kan pieken tot in maaiveld. Naast het meten van de grondwaterstand na dergelijke hoge neerslaghoeveelheden zijn er gedurende de winter ook metingen in vorstperioden uitgevoerd. Door van Heesen en Westerveld (1966) zijn een aantal criteria voor het meten van grondwaterstanden in buizen gehanteerd, teneinde een goede relatie te kunnen leggen tussen stambuizen en tijdelijke buizen. Het meten van de grondwaterstand moet geschieden in een periode waarin de grondwaterstand gemiddeld aan het dalen is (dalende tak), net na een hogere stand. Standen die worden gemeten in een periode waarin de grondwaterstand stijgt (stijgende tak) zijn minder bruikbaar. Als gevolg van een ongelijke mate van uitdroging van de wortelzone tijdens het groeiseizoen is de stijging van de grondwaterstand voor verschillende gronden en verschillende vormen van grondgebruik niet gelijk. In de criteria is ook opgenomen dat het in de drie dagen voor de meting niet meer dan 5 mm mag hebben geregend en gedurende de opnamedag vrijwel droog moet zijn. Voor metingen rond GHG wordt hierop een uitzondering gemaakt. Daarnaast mogen metingen niet worden verricht gedurende vorst- of dooiperioden, waardoor allerlei neveneffecten de waarnemingen kunnen gaan beïnvloeden. De bovenstaande criteria uit de jaren 60 zijn tijdens het Gd-onderzoek niet strikt gehanteerd. De

grootschaligheid van het LNV-onderzoek naar de uitspoelingsgevoeligheid van nutriënten naar het grondwater heeft er toe geleid dat door logistieke omstandigheden het niet haalbaar is geweest de criteria uit de jaren 60 strikt te hanteren. De mogelijke gevolgen hiervan zijn vooraf niet onderzocht.

De bezochte meetpunten waren echter ook vaak niet representatief in de ruimte. Men heeft de voorkeur gegeven aan de aselechte manier van selecteren van de meetpunten. Dit heeft tot gevolg gehad dat er meetpunten zijn geloot die niet representatief zijn voor hun omgeving. Voor dergelijke meetpunten hoeft men geen causaal verband te verwachten in het vervolgtraject van de Gd-kartering, waar een relatie wordt gelegd met de gebruikte hulpinformatie. Door het strikt toepassen van een aselechte steekproef zonder rekening te houden met de representativiteit van meetpunten is kennelijk de causaliteit uit het oog verloren. Dit kan tot gevolg hebben dat er in het vervolgtraject ‘ongeschikte’ maaiveldsregressiemodellen worden geselecteerd. Doordat de metingen soms niet representatief in de tijd, en soms niet representatief in de ruimte zijn, is het zeer gecompliceerd om een methode te ontwikkelen om meetpunten te detecteren die wellicht niet goed zijn zonder informatie te hebben van een detailkartering.

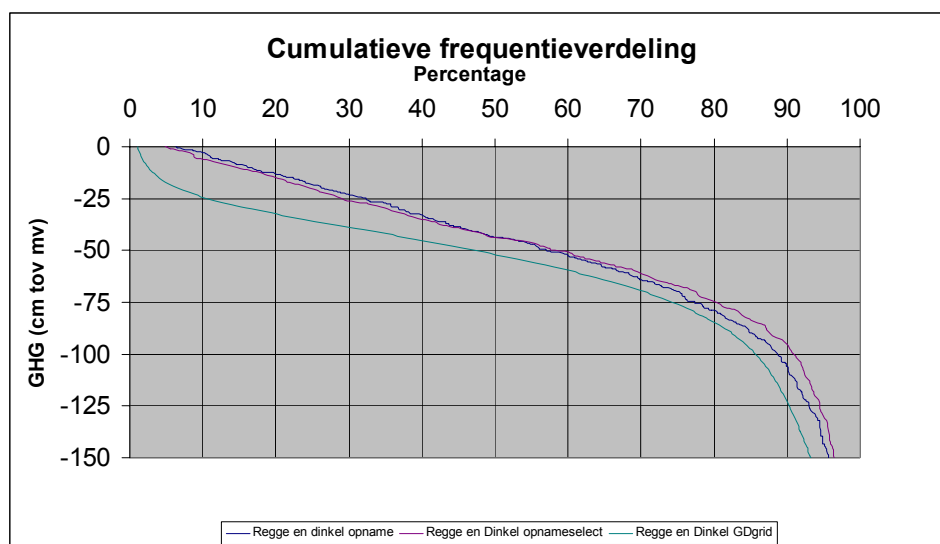
Een duidelijk voorbeeld is het wel of niet voorkomen van buisdrainage. Bij een relatief hoge neerslag zal de grondwaterstand stijgen met een snelheid die afhankelijk is van de uitgangssituatie en de berging. Indien de uitgangssituatie nagenoeg gelijk is (de uitgangssituatie is in de meeste gevallen met drainage droger dan in de situatie zonder drainage) kan de grondwaterstand in beide gevallen ongeveer evenveel stijgen. In een situatie met drainage zal de grondwaterstand vervolgens sneller dalen. De drainageweerstand is immers geringer. De piek in de grondwaterstand is hierdoor kortstondiger dan in de situatie zonder drainage. Dit komt tot uiting indien gekeken wordt naar de GHG en de overschrijdingsfrequentie van de GHG, of indien de duurlijnen van de grondwaterstand vergeleken worden in een situatie met of zonder buisdrainage. Dit zal betekenen dat een GHG meting tijdens of net na een forse regenbui op een andere manier uitwerkt op de voorspelde GHG. Indien in de stambuizenset te weinig buizen zitten met drainage kan de GHG, afhankelijk van het meetmoment, bij de stambuisregressie wellicht te hoog uitvallen voor locaties met buisdrainage.

Uiteindelijk heeft het veldbezoek er toe geleid dat er een selectieprocedure is ontwikkeld om meetpunten te selecteren die niet plausibel zijn. In een eerder onderzoek van Van der Gaast en Massop (2003) zijn alleen de meetpunten gebruikt waarbij niet werd geëxtrapoleerd en de fluctuatie tussen GHG en GLG minimaal 20 en maximaal 180 cm bedroeg. In de landelijke kartering zijn de selectiecriteria anders opgezet (bijlage 5). Daarnaast is er geen rekening gehouden met extrapolatie. In figuur 4.6 zijn de relatieve cumulatieve frequentieverdelingen van de GHG voor de gerichte opname (opname) voor en na de selectie (opnameselect) alsmede de Gd-kaart (Gdgrid) weergegeven. Uit de figuur blijkt dat de gerichte opnamen structureel natter zijn dan de Gd-kaart. Dit heeft te maken met de procedure die is gebruikt bij de loting van de puntlocaties. Hierbij is er namelijk voor gezorgd dat er relatief meer punten in natte gebieden zijn geselecteerd, waardoor de steekproef niet normaal

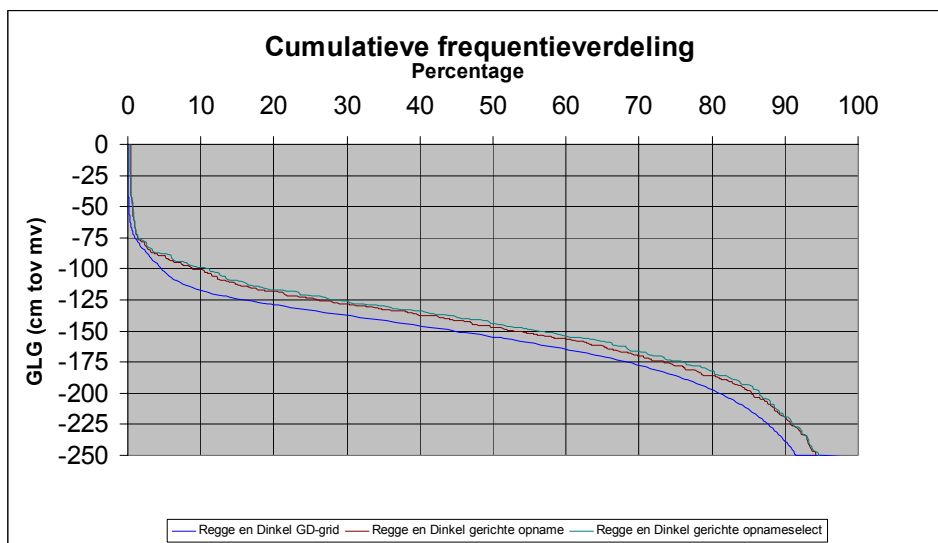
verdeeld is voor het gehele gebied. Daarnaast is te zien dat de frequentieverdeling van de punten maar weinig van elkaar verschillen. Uit de vergelijking met de detailkarteringen blijkt dat er ook na de selectie nog steeds punten voorkomen die een groot verschil vertonen met de detailkarteringen (Bijlage 3). De verdeling lijkt na selectie van de gerichte opnames niet structureel veranderd. Hierdoor komt de vraag naar voren of de selectie van de gerichte opname het gewenste effect heeft gehad.

Ook voor de GLG is de Gd-kaart, als gevolg van de oververtegenwoordiging van de gerichte opnames in het natte traject, droger (figuur 4.7). De relatieve cumulatieve frequentieverdeling voor de gerichte opnamepunten (opname) is voor en na de selectie (opnameselect) nagenoeg identiek.

Daarnaast geeft de vergelijking aan dat het gemiddelde verschil gering is (bijlage 3). Hieruit kunnen we concluderen dat er geen systematisch verschil is tussen beide gegevensbronnen. De detailkarteringsinformatie bestaat uit veldschattingen en de gerichte opnamepunten hebben betrekking op een klimaatsrepresentatieve GxG. Bij de veldschattingen wordt naast profielkenmerken ook gelet op veldkenmerken. Veldkenmerken zijn o.a. te ontleen aan de fysische geografie van het gebied (landschap, reliëf, dichtheid van het afwaterings- en ontwateringsstelsel, slootwaterstand, begreppeling, buisdrainage en bodemgebruik) alsmede aan de vegetatie (vocht – en droogte-indicatoren). De veldkenmerken worden bij een kartering tevens gebruikt om de begrenzing van een gebied met dezelfde grondwatertrap vast te stellen. Bij de gerichte opnamen wordt de gemeten grondwaterstand met behulp van stambuisregressie getransformeerd naar een GxG die representatief is voor het klimaat. Ook uit de gevoeligheidsanalyse van de tijdreeksanalyse (§ 3.4) blijkt dat de klimaatsrepresentatieve GxG maar weinig verschilt van de GxG op basis van metingen over 8 jaar. Dit betekent dat beide gegevens naast elkaar kunnen worden gebruikt.



Figuur 4.6 Relatieve cumulatieve frequentieverdeling van de GHG voor gerichte opnamepunten voor en na de selectie alsmede het resulterende Gd-grid



Figuur 4.7 Relatieve cumulatieve frequentieverdeling van de GLG voor gerichte opnamepunten voor en na de selectie alsmede het resulterende Gd-grid

#### 4.5 Bepaling van de onzekerheid voor detailkarteringsinformatie

Om het verlies aan puntinformatie na de selectie van meetpunten gedeeltelijk te compenseren is gebruik gemaakt van detailkarteringspunten. Voor de detailkarteringspunten ontbreekt echter informatie over de onzekerheid. De betrouwbaarheid van de geschatte GHG's en GLG's wordt immers in detailkarteringen niet bepaald. Om dit probleem te ondervangen is door een aantal bodemkundigen een landelijke tabel samengesteld (op basis van expert judgement), waarin per groep van bodemeenheden en Gt-klassen een betrouwbaarheid (95 %) voor zowel de GHG als voor de GLG wordt gegeven (zie tabel 4.2).

Het toekennen van een betrouwbaarheid aan een groep van bodemeenheden en Gt-klassen is gebaseerd op kennis vanuit de praktijk. In het veld blijkt namelijk dat het GHG-GLG traject onder bv. natte bodemkundige/hydrologische condities (natte Gt's) nauwkeuriger is te schatten dan onder droge condities (droge Gt's). Daarnaast zijn er bodemeenheden of groepen van bodemeenheden, waarin het GHG-GLG traject op basis van profielkenmerken vrij nauwkeurig is in te schatten (b.v. roest in bekeerdgronden of mineralisatie veengronden). In het algemeen geldt, dat wanneer men te maken heeft met een drogere Gt het GHG-GLG traject minder nauwkeurig is in te schatten, omdat bepaalde profielkenmerken vager of geleidelijker (roest in keileem) in het bodemprofiel aanwezig zijn. Voorts kan nog worden opgemerkt dat het schatten van een GHG in een bodemprofiel met bijvoorbeeld een 2 meter dikke storende keileemlaag net onder de bouwvoor beginnend, in het algemeen nauwkeuriger wordt ingeschat dan de GLG die zich bijvoorbeeld in deze keileemlaag bevindt. De hydromorfe kenmerken (roest of blauwkleuring) in deze laag zijn in het algemeen vaag en niet duidelijk begrensd, waardoor een veldschatting van de GxG parameters in dit materiaal minder nauwkeurig wordt.

Tabel 4.2 Betrouwbaarheidsintervallen (95%) in cm voor de GHG en GLG in detailkarteringen.

| Bodemcode                                                   | Gt klasse | Gt klasse       |                   |                  |                  |         |         |
|-------------------------------------------------------------|-----------|-----------------|-------------------|------------------|------------------|---------|---------|
|                                                             |           | ..I.,<br>..II.. | ..III.,<br>..IV.. | ..Va.,<br>..VI.. | ..Vb.,<br>..VI.. | ..VII.. | ..VII.. |
| ..EZ../..EK../..Hn../..Zn../..V<br>en..W p/z/k/g            | GHG       | 15              | 20                | 20               | 30               | 50      | 100     |
|                                                             | GLG       | 15              | 25                | 50               | 50               | 80      | 200     |
| ..EZ../..EK../<br>..Hn../..Zn../..V en ..W<br>/..Zg../x/t/l | GHG       | 15              | 20                | 25               | 40               | 60      | 110     |
|                                                             | GLG       | 20              | 30                | 70               | 70               | 110     | 200     |
| ..KX../..KT..                                               | GHG       | 15              | 20                | 30               | 40               | 60      | 120     |
|                                                             | GLG       | 20              | 30                | 80               | 80               | 110     | 230     |
| ..Md../..Rd..                                               | GHG       | NVT*            | NVT               | NVT              | 25               | 45      | 100     |
|                                                             | GLG       | NVT             | NVT               | NVT              | 45               | 75      | 200     |
| ..Mn../..Rn..                                               | GHG       | 15              | 15                | 20               | 25               | 45      | NVT     |
|                                                             | GLG       | 10              | 20                | 40               | 40               | 70      | NVT     |
| ..Mo../..Wo../..Ro..                                        | GHG       | 10              | 15                | NVT              | NVT              | NVT     | NVT     |
|                                                             | GLG       | 10              | 15                | NVT              | NVT              | NVT     | NVT     |
| ..Mn../v/..Rn../v,<br>..Mv../..Rv..                         | GHG       | 15              | 15                | 20               | 25               | NVT     | NVT     |
|                                                             | GLG       | 15              | 15                | 40               | 40               | NVT     | NVT     |
| ..Vs../..Vd..                                               | GHG       | 20              | 20                | 20               | 30               | 40      | 50      |
|                                                             | GLG       | 20              | 25                | 40               | 40               | 50      | 100     |
| ..Vc../..Vr../..Vb..                                        | GHG       | 15              | 20                | 20               | 30               | 40      | 50      |
|                                                             | GLG       | 10              | 20                | 30               | 30               | 50      | 100     |
| ..Y../..Hd../..Zd..                                         | GHG       | NVT             | NVT               | NVT              | 30               | 50      | 100     |
|                                                             | GLG       | NVT             | NVT               | NVT              | 50               | 80      | 200     |
| ..Y../..Hd../..Zd../x/t/l                                   | GHG       | NVT             | NVT               | NVT              | 40               | 60      | 110     |
|                                                             | GLG       | NVT             | NVT               | NVT              | 70               | 110     | 200     |
| ..Zg..                                                      | GHG       | 15              | 20                | 20               | 25               | 50      | NVT     |
|                                                             | GLG       | 15              | 20                | 30               | 30               | 70      | NVT     |

\* nvt = niet van toepassing

De tabel met de gegevens over de nauwkeurigheid van de GHG en GLG schattingen is gebruikt voor het toekennen van voorspelfouten aan de GHG's en GLG's op de puntlocaties, waar gebruik is gemaakt van informatie uit de detailkarteringen. Voor het bepalen van de voorspelfout van de GVG is gezocht naar een pragmatische oplossing. De GVG schatting op de puntlocaties van de detailkarteringen wordt via de voorspelformule afgeleid uit de GHG en GLG. Aangezien zowel een directe schatting van de GVG en ook de betrouwbaarheid van deze schatting ontbreekt, is de voorspelfout van de GVG globaal, door deze via de regressieformule van de GHG en GLG af te leiden. De regressieformule voor het bepalen van de GVG (§ 2.2) is in globale vorm toegepast voor het bepalen van de onzekerheid voor de GVG. Hiervoor is uiteindelijk de volgende regressieformule gebruikt:  $sdGVG (cm) = 0,25 * (sdGLG - sdGHG) + sdGHG$ .

#### 4.6 Resultaten voor het waterschapsgebied

Voor de stambuisregressie is gebruik gemaakt van 94 stambuizen uit de stambuizen-set, die vermeld staan in een bijlage 1. Met behulp van stambuisregressie zijn de gerichte opnames van de grondwaterstanden omgerekend naar klimaat-

representatieve GxG's. Voor de gerichte opnamelocaties waarvoor in de zomer een hogere grondwaterstand is gemeten dan in de winter, is de GxG berekend met behulp van regressie op basis van beide gemeten standen. In het waterschap zijn op 1009 locaties gerichte opnamen van de grondwaterstand gedaan en voorspellingen voor de GxG uitgevoerd. Na beoordeling van de voorspellingen, waarbij gebruik is gemaakt van de Bodemkaart van Nederland, schaal 1 : 50 000, zijn volgens vastgestelde criteria (bijlage 5) 207 punten uit het bestand verwijderd. Het waterschap heeft extra puntgegevens aan Alterra geleverd in de vorm van meetgegevens uit grondwaterstandbuizen. Het betreft 80 buizen die aan het puntenbestand zijn toegevoegd.

Voor een deel van het waterschap zijn gedetailleerde grondwatertrappenkaarten beschikbaar, die recent (vanaf 1989) zijn gekarteerd (figuur 4.8). De informatie op deze kaarten is gebaseerd op een waarnemingsdichtheid van ca. 1 boring per ha. Per boorpunt is in het veld een schatting gemaakt van de GHG en GLG. Deze schattingen zijn naast veld- en profielkenmerken onderbouwd middels gemeten grondwaterstanden in boorgaten en grondwaterstandsbuizen tijdens de kartering. Voor locaties die na beoordeling met de 1 : 50 000 bodemkaart zijn verwijderd, zijn schattingen uit deze detailkaarten in het bestand gevoegd. Deze schattingen zijn alleen toegevoegd, wanneer de detailpunten binnen 50 meter van een verwijderd gerichte opname punt liggen. Er zijn op deze manier 115 punten toegevoegd uit de detailkarteringen Enter (Dodewaard en Kiestra, 1990), Diepenheim (Van der Werff en Brouwer, 1997), Losser Noord (Kleijer, 1995), Losser Zuid (Stoffelsen en Vroon, 1998), Enschede Noord (Rutten *et al.*, 1994), Enschede Zuid (Rutten, 1991), Markelo – Goor (Stoffelsen, 1999), Rijssen (Dodewaard en Kiestra, 1990) en Saasveld – Gammelke (Groot Obbink *et al.*, 1989). In een bijlage (cdrom: \Detailkarteringen) zijn ook de voorspelfouten van de GxG's uit de detailkarteringen opgenomen. Deze voorspelfouten zijn bepaald middels tabel 4.2, die in de voorgaande paragraaf is behandeld.

Verder zijn de gegevens van de stambuizen aan het puntenbestand toegevoegd, zodat in totaal op 1213 locaties een voorspelling van de GxG is gedaan. Van deze locaties zijn de x en y coördinaten in de bijlage opgenomen (Bijlage op cdrom: \Puntinformatie). Hier staan ook de gemeten grondwaterstanden, en staat de geschatte GxG en de voorspelfout van de GxG weergegeven. In tabel 4.3 staat een overzicht van de herkomst van de meetdata die gebruikt zijn bij de maaiveldregressie.

*Tabel 4.3 Herkomst van de gebruikte schattingen voor de maaiveldregressie.*

| Soort meetpunt                   | Aantal |
|----------------------------------|--------|
| Gerichte opname                  | 924    |
| Grondwaterstandbuizen waterschap | 80     |
| Stambuizen                       | 94     |
| Detailpunten                     | 115    |
| Totaal                           | 1213   |





*Figuur 4.8 Overzicht van de gebruikte detailkarteringen.*

## 5 Gd-actualisatie: maaiveldsregressie

### 5.1 Gebiedsdekkende hulpinformatie over topografie en waterhuishouding

Voorafgaande aan de gebiedsdekkende invulling van de GxG wordt het Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN) gecontroleerd op ‘onnatuurlijke’ hoogten die veroorzaakt worden door bijvoorbeeld schuren, huizen, wegen en viaducten. Deze onnatuurlijke hoogten zijn verwijderd. Vervolgens zijn alle cellen die behoren tot de LGN4-klassen ‘zoet water’, ‘zout water’, ‘stedelijk bebouwd gebied’ en ‘hoofdwegen en spoorwegen’ verwijderd. De standaardafwijkingen van de hoogten zijn berekend voor schuivende vensters van de 3×3 omliggende cellen. Cellen zijn verwijderd als deze standaardafwijking groter is dan 100 cm, en de cellen behoren tot één van de volgende klassen van het LGN4-bestand: ‘bebouwing in agrarisch en buitengebied’, ‘loof- en naaldbos in bebouwd gebied’, ‘bos met dichte bebouwing’, ‘gras in bebouwd gebied’, ‘kale grond in bebouwd buitengebied’. Als de standaardafwijking groter is dan 100 cm en de cellen liggen minder dan 50 m verwijderd van ‘hoofdwegen en spoorwegen’ zijn deze ook verwijderd.

### 5.2 Afleiding van gebiedsdekkende hulpinformatie

Van het AHN-bestand, de 1 : 50 000 Gt-kaart en het Top10-Vectorbestand zijn vijf groepen hulpinformatie afgeleid. Elk van deze groepen hulpinformatie bevat één of meer kaarten met daarop parameters die hydrologisch relevant zijn. Parameters die min of meer uitwisselbaar zijn, zijn ondergebracht in dezelfde groep. De inhoud en de afleiding van de gebiedsdekkende hulpinformatie wordt hieronder voor elk van de vijf groepen beschreven. Het AHN-bestand tezamen met de hulpbestanden wordt in het vervolg het ‘AHN+-bestand’ genoemd.

#### ***Groep 1: relatieve maaiveldhoogten***

Uit onderzoek van Te Riele en Brus (1992) en Te Riele *et al.* (1995) is gebleken dat grondwaterstanden kunnen samenhangen met de maaiveldhoogte ten opzichte van NAP en met de relatieve maaiveldhoogte. Met relatieve maaiveldhoogte wordt de hoogte van een punt ten opzichte van de gemiddelde hoogte in een gebied binnen een bepaalde straal rond dat punt bedoeld (figuur 5.1). Voor elk punt in het AHN is voor omgevingen met een straal van 100, 200, 300, 400 en 500 meter de relatieve maaiveldhoogte bepaald.

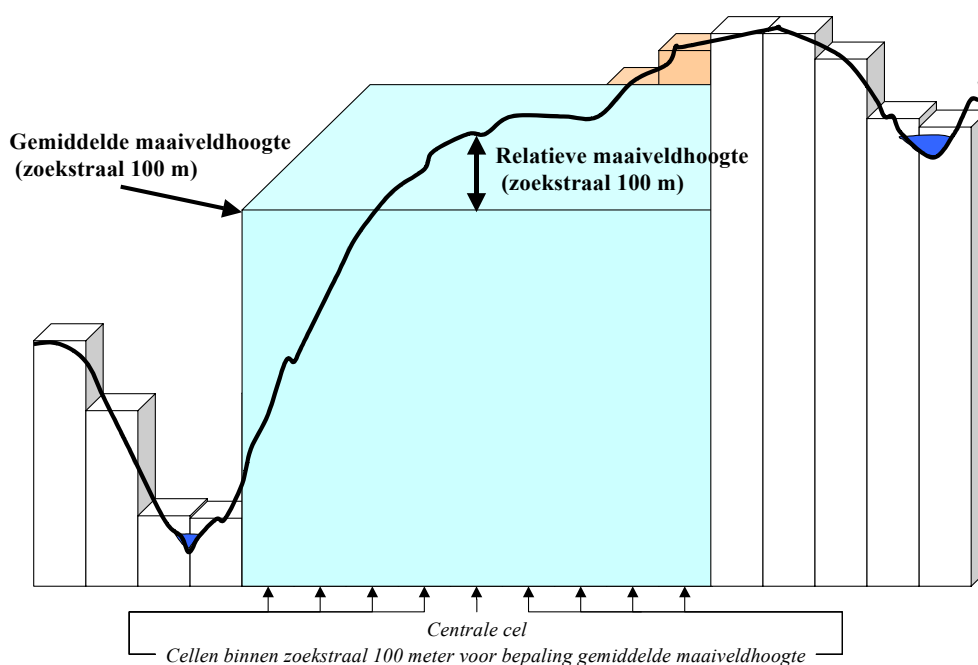
#### ***Groep 2: drainagedichtheid***

De dichtheid van de ontwateringsmiddelen beïnvloedt de grondwaterstanden in een gebied (met name de GHG, maar indien er sprake is van waterinlaat ook de GLG). Daarom wordt de drainagedichtheid gebiedsdekkend geschat en gebruikt als hulpinformatie. Uit het Top10-Vectorbestand zijn alle watergangen geselecteerd. Hiervan zijn twee bestanden gemaakt: een bestand met alle watergangen (‘sloot en

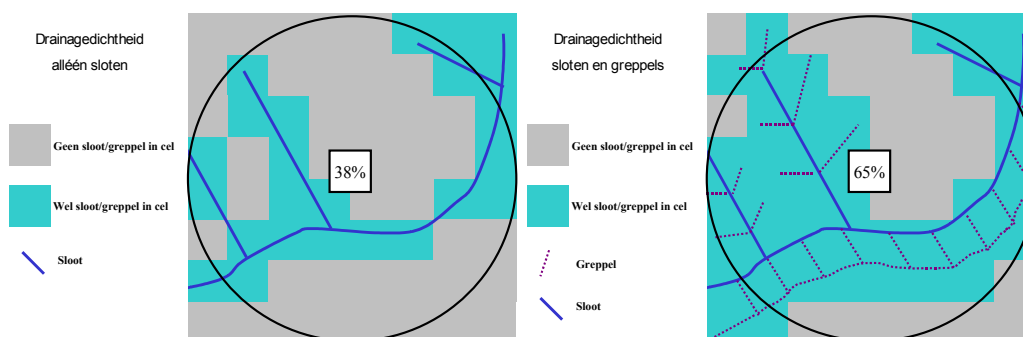
greppel”) en een bestand waar de detailontwatering, welke droog kunnen vallen, uit is verwijderd (‘alleen sloot’). Voor elke 25×25-metercel is bepaald in hoeveel naburige cellen binnen een zoekstraal van 300 en 400 meter drainage voorkomt (figuur 5.2). Hieruit volgt een indicatie van de drainagedichtheid voor ‘alleen sloot’ en ‘sloot en greppel’. In vooral bos en natuurgebieden kan het voorkomen dat het Top10-Vectorbestand niet volledig is. Een voorbeeld hiervan is de Lonnekerberg, waar de greppels in de vorm van rabatten grotendeels ontbreken.

### ***Groep 3: drooglegging ten opzichte van maaiveld***

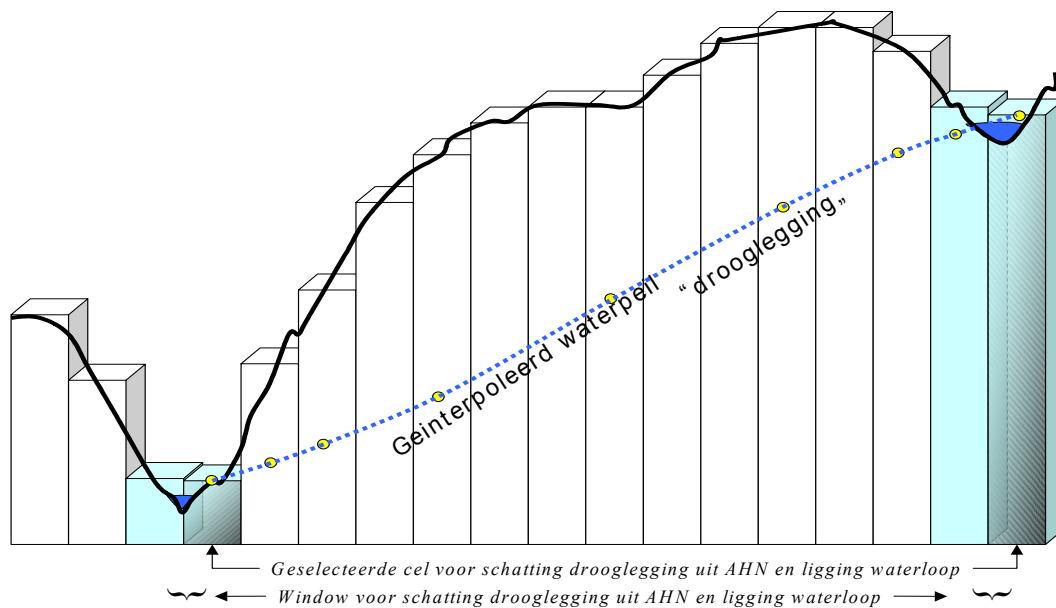
De drooglegging is het hoogteverschil tussen de waterspiegel in een waterloop en het maaiveld. Het kan worden geïnterpreteerd als het verwachte effect van het peilbeheer en de infrastructuur van de waterlopen op de grondwaterstand. Een gebiedsdekkende schatting van de drooglegging zal daarom naar verwachting nuttige hulpinformatie opleveren bij een grondwaterstandskartering.



*Figuur 5.1 Bepaling relatieve maaiveldhoogte uit het AHN*



*Figuur 5.2 Bepaling van de drainagedichtheid*



*Figuur 5.3 Schatting van de drooglegging*

Uit een combinatie van de gedigitaliseerde waterlopen uit het Top10-Vectorbestand en het AHN is een bestand afgeleid waar per 25×25-meterpixel de drooglegging is bepaald (figuur 5.3). Dit is gebeurd in drie stappen:

1. in elk segment van een watergang is een peil ten opzichte van NAP geschat met de waarde van het laagst gelegen punt van het AHN in de directe omgeving;
  2. dit peil ten opzichte van NAP is gebiedsdekkend geïnterpoleerd, gewogen naar de inverse afstand tot de waterloop;
  3. door deze geïnterpoleerde peilen af te trekken van de maaiveldhoogte uit het AHN is de drooglegging ten opzichte van het maaiveld gebiedsdekkend berekend.
- Waarschijnlijk geeft de drooglegging die op bovenstaande wijze is berekend een systematisch te nat beeld van de drooglegging, omdat het peil geschat in stap 1 deels op hoogtecijfers van de oevers zal zijn gebaseerd, en niet op het waterpeil zelf. Met behulp van metingen van het slootpeil ten opzichte van de lokale maaiveldhoogte kan hiervoor worden gecorrigeerd. Zowel de gecorrigeerde droogleggingkaart als de kaart met oorspronkelijke schattingen van de drooglegging zijn als hulpinformatie gebruikt in het vervolg van het onderzoek.

#### ***Groep 4: maaiveld ten opzichte van NAP***

Dit is de absolute maaiveldhoogte volgens het 25×25-meter AHN-bestand.

#### ***Groep 5: de GHG en GLG volgens de Gt-kaart 1:50 000 en de geschatte berging***

De Gt-kaart 1:50 000 is weliswaar verouderd wat betreft de absolute niveaus van de GHG en GLG, maar geeft de ruimtelijke variatie mogelijk nog wel goed weer. Om die reden is de 1:50 000 Gt-kaart omgezet in kaarten van de GHGoud en GLGoud, waarbij gebruik is gemaakt van de karakterisatie van Gt's door Van der Sluijs (1982, 1990), zie tabel 5.1. De Gt-klassen van de 1:50 000 Gt-kaart en het AHN-maaiveldshoogtebestand worden gebruikt om een neergeschaalde kaart van de GHG

en GLG te maken. Voor elk Gt-vlak van de 1 : 50 000 kaart wordt het 5-de en 95-ste percentiel van de AHN-hoogten in dat vlak bepaald. Voor de hoogten tussen het 5 - de en 95-ste percentiel wordt verondersteld dat deze lineair samenhangen met de GHG's en GLG's tussen de onder- en bovengrens voor de betreffende Gt-klasse. Vervolgens worden de hoogten uit het AHN-bestand met deze lineaire relatie getransformeerd in GHG's en GLG's ook voor de locaties buiten het 5-de tot het 95-ste percentiel. De op deze wijze neergeschaalde oude GHG en GLG worden als gebiedsdekkende hulpinformatie aangeboden. Met behulp van metamodellen (Van der Gaast *et al.*, 2005) die de relatie tussen de grondwaterstand en de berging per bodemfysische eenheid weergeven is de bergingscapaciteit bij de oude GHG en GLG berekend. Deze bergingscapaciteiten zijn als gebiedsdekkende hulpinformatie gebruikt.

*Tabel 5.1 Onder - en bovengrenzen van GHG en GLG per Gt-klasse*

| Gt op kaart | GHGboven | GHGonder | GLGboven | GLGonder |
|-------------|----------|----------|----------|----------|
| I           | -17      | 40       | 26       | 50       |
| II          | -9       | 40       | 50       | 80       |
| II*         | 25       | 50       | 50       | 80       |
| III         | 0        | 40       | 80       | 120      |
| III*        | 25       | 40       | 80       | 120      |
| IV          | 40       | 120      | 80       | 120      |
| V           | 0        | 40       | 120      | 150      |
| V*          | 25       | 40       | 120      | 160      |
| VI          | 40       | 80       | 120      | 190      |
| VII         | 80       | 120      | 160      | 260      |
| VII* / VIII | 140      | 220      | 160      | 400      |

### ***Aanvullende Hulpinformatie***

Bij de maaiveldregressie is naast de gebruikelijke hulpinformatie ook informatie gebruikt die het waterschap beschikbaar heeft gesteld. Het gaat hierbij om de GHG en de GLG van een modelresultaat van TNO (2004), de c- waarde, de kD-waarde, de spreidingslengte ( $\sqrt{kDc}$ ), kwelintensiteit voor zomer en winter en de drooglegging op basis van het hydrologisch AHN (NITG-TNO, 2004). Voor het voorspellen van de GHG en de GVG is de GLG van het TNO-model en de kwelintensiteit in de zomer uitgesloten, evenals voor de GLG de GHG van het TNO-model en de kwelintensiteit in de winter is uitgesloten. Deze extra geleverde informatie is een aantal keren gebruikt als predictor in het geselecteerde model voor de voorspelling van de GHG en GLG binnen strata.

## **5.3 Gebiedsdekkende voorspelling van de GxG**

De gebiedsdekkende voorspelling van de GxG vindt plaats in een aantal stappen, die weergegeven zijn in figuur 2.1 Allereerst wordt met behulp van regressieanalyse de samenhang tussen de GxG op puntlocaties en de vijf groepen met gebiedsdekkende hulpinformatie onderzocht. De regressieanalyse wordt beschreven in § 5.4 en wordt per stratum uitgevoerd. Dit levert voor elk stratum een selectie van predictoren op, een gekalibreerd regressiemodel en een aantal residuen (verschilwaarden tussen de

GxG die voor puntlocaties is berekend en de GxG die voor deze locaties is voorspeld met het regressiemodel). Vervolgens wordt de ruimtelijke structuur van deze residuen geanalyseerd. Dit gebeurt niet per stratum, maar voor alle strata tegelijk, teneinde over voldoende metingen te beschikken om de ruimtelijke structuur te kunnen modelleren. De laatste stap, de voorspelling van de GxG, wordt beschreven in § 5.8 Voor elke cel uit het 25×25-metergrid wordt de GxG voorspeld op basis van de, met regressie, geselecteerde predictoren, de variogrammen en de waarden van de GxG op meetlocaties.

## 5.4 Regressieanalyse

Voor elk stratum is een model geselecteerd dat de samenhang beschrijft tussen de GxG op meetlocaties en de vijf groepen met gebiedsdekkende hulpinformatie die zijn beschreven in § 5.2. Omdat verklarende variabelen (gebiedsdekkende hulpinformatie) die tot dezelfde groep behoren naar verwachting uitwisselbaar zijn in de regressieanalyse, is uit elke groep slechts één variabele in het regressiemodel opgenomen. Aldus wordt een set kandidaatmodellen samengesteld, met elk een regressieconstante en met maximaal vijf predictorvariabelen. Voor elk stratum is het beste model geselecteerd op basis van het Mallows' Cp-criterium (Mallows, 1966). Om de nauwkeurigheid van de GxG-voorspellingen voor peilbuis- en gerichte opnamelocaties te kunnen verdisconteren is er een gewogen regressie uitgevoerd, waarbij de nauwkeurigheid als gewicht diende: hoe nauwkeuriger de GxG-voorspelling, hoe meer gewicht in de regressieanalyse. In formulevorm is het gewicht gelijk aan  $f/(1 + s_i^2)$ , waarin  $s_i^2$  de variantie is van de fout in de berekende GxG op locatie  $i$ ,  $i = 1 \dots n$ , en  $f$  een correctiefactor die ervoor zorgt dat de gewichten sommeren tot het aantal waarnemingen  $n$  gebruikt in de regressieanalyse.

In de praktijk betekent dit dat buislocaties een veel groter gewicht hebben dan gerichte opnamelocaties. De berekende standaarddeviatie op basis van tijdreeksanalyse is voor buislocaties in de orde van 2 cm, waardoor het gewicht uitkomt op 1/5. Voor gerichte opnamelocaties is de berekende standaarddeviatie echter veelal in de orde van 20 tot 25 cm, met als gewicht ongeveer 1/500. Dit heeft tot gevolg dat buisgegevens ongeveer 100 keer zwaarder meewegen dan gerichte opnamelocaties. Uit eerder onderzoek is gebleken dat de berekende onzekerheid voor buislocaties op basis van tijdreeksanalyses is onderschat (Van der Gaast en Massop, 2003 en 2005c). Daarnaast is het vaak de vraag of buizen representatief zijn gelegen. Uit onderzoek van Van der Gaast en Massop 2005a is gebleken dat bij een grote steekproef buislocaties gemiddeld genomen representatief liggen ten opzichte van het maaiveld in hun omgeving. Er kunnen echter lokaal aanzienlijke verschillen zijn tussen de maaiveldhoogte ter plekke van een peilbuis en hun omgeving. Aangezien de berekende onzekerheid van de GxG voor buislocaties is onderschat en de representativiteit van de buislocaties ten opzichte van het omringende maaiveld niet is meegenomen is het de vraag of gewogen regressie bij de maaiveldsregressie op zijn plaats is. Daarnaast is het de vraag of de stijghoogte op buislocaties overeenkomt met de freatische grondwaterstand (§ 7.2).

## 5.5 Ruimtelijke structuur van de residuen

Het verschil tussen de GxG-waarde op een peilbuislocatie of de locatie van een gerichte opname ( $GxG_{\text{obs}}$ ), en de waarde die is berekend met het geselecteerde regressiemodel ( $GxG_{\text{mod}}$ ), noemen we residu en wordt als volgt berekend:

$$\varepsilon_k(x) = GxG_{\text{obs},k}(x) - GxG_{\text{mod},k}(x), \quad (2.3)$$

waarin  $k$  aangeeft in welk stratum het residu ligt. Het gemiddelde van de residuen per stratum is ongeveer nul en ze hebben een variantie  $s_k^2$ . Waarschijnlijk vertonen de residuen een ruimtelijke correlatie of structuur. Het regressiemodel behoeft immers niet alle ruimtelijke structuur in de GxG verklaard te hebben uit de gebiedsdekkende hulpinformatie. Voor de voorspelling van de GxG en de berekening van de voorspelfout, is het van belang rekening te houden met de ruimtelijke structuur van de residuen. De ruimtelijke structuur wordt gemodelleerd met een (semi-)variogram (Davis, 2002, blz. 254-264). Het variogram geeft de afhankelijkheid weer tussen een waarneming op locatie  $x$  en een waarneming op locatie  $x + h$ , waarbij  $h$  een vector is die zowel afstand als richting aangeeft.

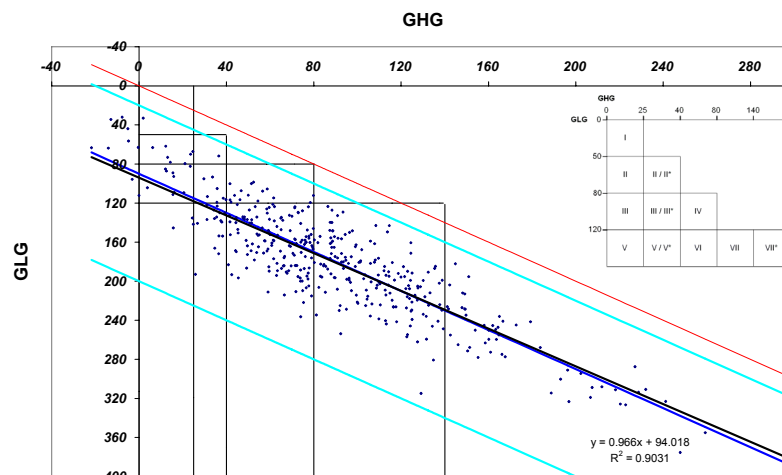
Het variogram wordt gemodelleerd voor GHG, GVG en GLG afzonderlijk. Eerst worden de residuen per stratum gestandaardiseerd door ze te delen door de variantie van de residuen per stratum  $s_k^2$ . Na standaardisatie worden de residuen uit alle strata gebruikt bij de modellering van één en hetzelfde, gestandaardiseerd variogram. De variogrammen worden vervolgens per stratum gedestandaardiseerd op basis van  $s_k^2$ . Aangezien het doel is de werkelijke GxG te voorspellen en niet de GxG die voor een meetlocatie zou kunnen worden berekend, dient rekening te worden gehouden met de meetfout. Hierom wordt het stratum-specifieke variogram nog gecorrigeerd voor de pseudomeetfout (eigenlijk voorspelfout) van de GxG-opnamen door vermindering van de *nugget*-parameter van het variogram met de gemiddelde variantie van de pseudomeetfout in de GxG-opnamen per stratum. Indien de *nugget*-parameter van het variogram kleiner is dan de gemiddelde variantie van de pseudomeetfout wordt ze gelijk gesteld aan nul. In strata waar dit het geval is en de gemiddelde variantie van de schattings- en voorspelfouten groter is dan de nugget hebben we te maken met een discrepantie tussen de berekende nugget en variantie van de pseudomeetfout. In dergelijke gevallen beschrijft het variogram de meetgegevens beter dan op grond van de berekende variantie van de pseudomeetfout verwacht zou mogen worden. Nader onderzoek naar het bepalen van varianties voor meetfouten en het verdisconteren van meetfouten is gewenst om dergelijke discrepanties in de gegevens in de toekomst te voorkomen.

## 5.6 Universal kriging van GxG

De gebiedsdekkende voorspelling van de GxG vindt voor elk stratum afzonderlijk plaats. Binnen een stratum wordt bij een standaard kartering rekening gehouden met de correlatie tussen GHG, GVG en GLG door cross-variogrammen te gebruiken bij voorspelling met Gstat (Pebesma en Wesseling, 1998). Gebiedsdekkende voor-

spelling wordt met universal co-kriging uitgevoerd in het geval van simultane voorspelling van GHG, GVG en GLG. Als driftvariabelen bij kriging wordt gebruik gemaakt van de, met regressie, geselecteerde predictoren (gebiedsdekkende hulpinformatie).

Door rekening te houden met correlatie tussen GHG, GVG en GLG wordt verondersteld dat er een bepaalde samenhang is tussen de GxG. Voor afzonderlijke locaties kan men een onderlinge samenhang verwachten, hetgeen zich uit in een bepaalde Gt. De samenhang kan echter per locatie verschillen waardoor verschillende Gt's voor kunnen komen. In figuur 5.4 is de relatie tussen de GHG en GLG voor stambuizen alsmede de Gt indeling weergegeven. In de figuur is duidelijk te zien dat voor hetzelfde GHG traject meerdere GLG trajecten voor kunnen komen, hetgeen zich uit in verschillende unieke Gt's. Hierdoor is de onderlinge samenhang per Gt duidelijk verschillend. Door gebruik te maken van dezelfde correlatie tussen de GxG parameters wordt verondersteld dat deze samenhang voor iedere locatie gelijk is. Hierdoor is het moeilijker om Gt's te berekenen die niet voldoen aan de gemiddelde onderlinge samenhang tussen de GxG parameters. Vooral Gt V, welke het meest afwijkt van de gemiddelde samenhang wordt hierdoor minder gemakkelijk voorspeld. Het veronderstellen van een onderlinge samenhang heeft namelijk tot gevolg dat, afhankelijk van de gebruikte correlatie, de fluctuatie in meer of mindere mate wordt vastgelegd. Vooral Gt V met een uitzonderlijk hoge fluctuatie maar ook natte Gt's met een geringe fluctuatie kunnen hierdoor minder gemakkelijk worden voorspeld. Het is de vraag in hoeverre de opgegeven onderlinge correlatie dergelijke effecten heeft. Nader onderzoek naar het effect van het hanteren van een onderlinge samenhang is wenselijk.



Figuur 5.4 Relatie tussen de GHG en de GLG voor de stambuizen die gebruikt zijn bij de Gd-kartering voor het ministerie van LNV (naar: Van der Gaast en Massop, 2003)

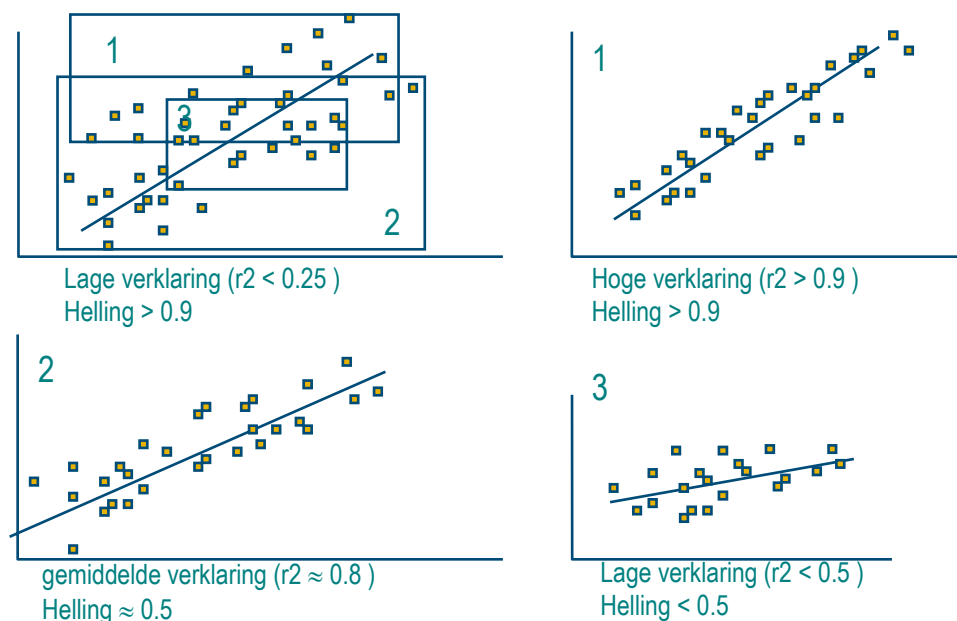
Het resultaat van de universal kriging is een gebiedsdekkende krigingvoorspelling van de GxG en een gebiedsdekkende krigingvariantie van de voorspelling per stratum. De GxG-voorspellingen en voorspelfouten per stratum worden in een GIS samengevoegd tot kaarten voor het totale gebied. De resolutie en gebiedsbegrenzing



is gelijk aan de gebiedsdekkende hulpinformatie waaraan de gebruikte predictoren zijn ontleend.

## 5.7 Gevoeligheden maaiveldsregressie

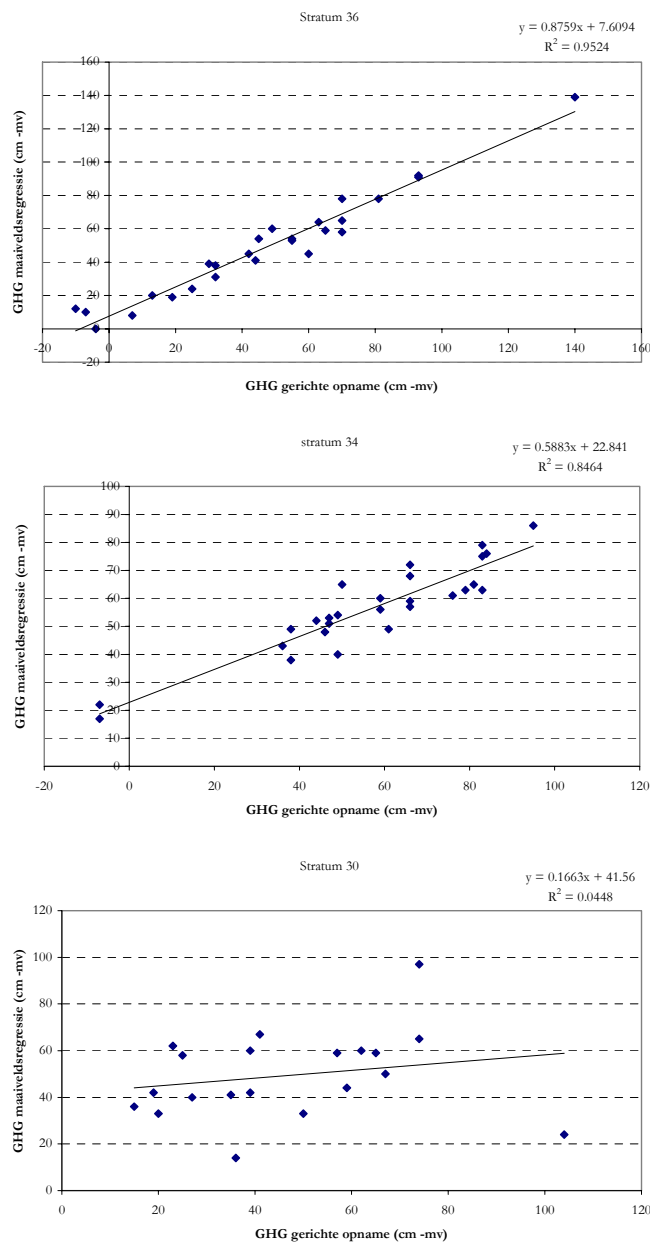
Om meer inzicht te krijgen in de effecten van de maaiveldsregressie bij de Gd-kartering zijn in figuur 5.5 de gemeten GxG en de berekende GxG tegen elkaar uitgezet. De figuur is een schematische weergave van 3 strata. Op de x-as staat de gemeten GxG (= de GxG welke voor gerichte opnamelocaties is bepaald d.m.v. stambuisregressie) en op de y-as staat de berekende GxG, berekend op basis van de maaiveldsregressie. In de optimale situatie is de helling of richtingscoëfficiënt 1 en de verklaarde variantie 1. Links boven zijn alle 3 de strata samen genomen. De verklaarde variantie is laag ( $r^2$ ) en de richtingscoëfficiënt is hoog (bijna gelijk aan 1). Gezien de hoge richtingscoëfficiënt vindt er bij deze situatie nagenoeg geen afvlakking plaats. De gemeten GxG is gemiddeld gezien immers ongeveer gelijk aan de berekende GxG. De 'scattering' rond de lijn is echter wel redelijk groot, waardoor de gemiddelde afwijking hoog is, hetgeen tot uiting komt in de lage verklaarde variantie. Indien de dataset wordt opgedeeld in 3 strata wordt de verklaarde variantie over het algemeen groter. Dit betekent dat de gemiddelde afwijking op basis van de kleinste kwadraten methode van alle punten tov de lijn kleiner is. Gemiddeld genomen wordt de voorspelling van de GxG beter. Voor een goede vergelijking moet echter de *root mean squared error* (RMSE) worden gebruikt.



Figuur 5.5 Schematische weergave van de maaiveldsregressie voor verschillende strata met op de x-as de (gemeten) GxG op puntlocaties en op de y-as de berekende GxG op basis van de maaiveldsregressie.

Belangrijk is de richtingscoëfficiënt, die een maat is voor de afvlakking. Deze is over het algemeen kleiner indien het gebied wordt opgedeeld in strata. Er komen strata

voor waar zowel de  $r^2$  als de helling hoog zijn zoals bijvoorbeeld het fictieve stratum 1 in figuur 5.5 Er komen echter ook strata voor waar zowel de  $r^2$  als de helling klein is. In dit geval vindt er door de geringe helling een afvlakking plaats. Binnen het beheergebied van het waterschap is voor ieder stratum de regressiecoëfficiënt en de verklaarde variantie bepaald. In figuur 5.6 zijn enkele strata weergegeven die ongeveer overeenkomen met de eerdergenoemde voorbeelden.



*Figuur 5.6 Relatie tussen de voorspelde en berekende GHG voor 3 strata.*

Vervolgens is de richtingscoëfficiënt en de verklaarde variantie voor de GHG en de GLG voor de strata in kaarten weergegeven. In figuur 5.7 zijn de strata te zien waar de verklaarde variantie en de richtingscoëfficiënt laag is. Over het algemeen zijn de

resultaten voor de GLG iets slechter dan voor de GHG. Indien gekeken wordt naar een afvlakkende werking dan dient men vooral te kijken naar de strata waar de richtingscoëfficiënt laag is. In deze strata worden de voorspellingen van de GxG naar een gemiddelde getrokken, waardoor de kaart wordt afgevlakt. In dergelijke situaties geeft de hulpinformatie onvoldoende informatie om de grondwaterstandsfluctuatie goed te kunnen beschrijven. Mogelijke oorzaak van de grote verschillen tussen de strata is het al dan niet voorkomen van verkeerde puntinformatie. Bij de maaiveldsregressie worden de regressiemodellen gebaseerd op de puntinformatie en de bijbehorende hulpinformatie. Indien gebruik wordt gemaakt van puntinformatie die niet representatief is, kan dit tot gevolg hebben dat er een verkeerd regressiemodel wordt geselecteerd. Het kan hierbij gaan om buisinformatie (§ 7.2) of gerichte opnamen (§ 4.4) die niet representatief zijn voor de gebruikte parameter-ruimte, en derhalve niet passen bij de gebruikte hulpinformatie. Hierbij moet nog worden opgemerkt dat de buisgegevens als gevolg van een te geringe berekende onzekerheid ten onrechte veel effect hebben op de maaiveldsregressie (§ 4.4). Het effect van verkeerde (niet representatief voor de gebruikte hulpinformatie) puntinformatie is op voorhand niet in te schatten. Hiervoor is nader onderzoek noodzakelijk. Bij tijdreeksanalyse, ook een vorm van regressie, is door onderzoek van Van der Gaast en Massop, 2003 gebleken dat één foute meting in een tijdreeks over meerdere jaren tot gevolg kan hebben dat de berekende GxG tientallen centimeters kan verschillen.

Bij de maaiveldsregressie worden zo veel mogelijk verklarende variabelen aan de selectieprocedure aangeboden. Verkeerde, niet representatieve, puntinformatie kan tot gevolg hebben dat er gemakkelijk gekozen wordt voor een verkeerd model. Daarnaast is het mogelijk, dat er meerdere modellen als gelijkwaardig naar voren komen. In deze situatie kan men dan geen duidelijke uitspraak doen over de vraag welke variabelen een bijdrage leveren aan de voorspelling. In de praktijk blijkt ook dat de geselecteerde modellen veelal niet stabiel zijn, hetgeen wellicht wordt veroorzaakt door verkeerde puntinformatie. Daarnaast moet worden geconstateerd dat het aantal punten per stratum voor bijna alle strata te laag is, waardoor de resultaten van de modelselectie vaak niet stabiel zijn. De geringe stabiliteit bij modelselectie uit zich in de uitwisselbaarheid van modellen die statistische gezien allemaal bijna even goed zijn. De constatering dat het aantal datapunten per stratum vaak te laag is kan worden onderbouwd op basis van een statistische vuistregel. Indien gebruik wordt gemaakt van selectie van variabelen bij multiple regressie komt Oude Voshaar (1994) namelijk tot de volgende vuistregel: *Voor een stabiel resultaat is het gewenst dat het aantal waarnemingen niet al te klein is. Een vuistregel is: minimaal 3 à 5 maal het aantal te schatten parameters (inclusief  $\beta_0$ ). Verder moet men uiteraard geen last hebben van uitbijters en invloedrijke punten (hoge residuen of leverages)*

Indien aan de bovenstaande vuistregel niet wordt voldaan is de kans groot dat er (bijna) gelijkwaardige modellen naar voren komen die vaak bestaan uit zogenaamde gelegenheidsfits, waarin niet direct alle relevante predictorvariabelen zijn opgenomen. In de praktijk komt het er op neer dat bij gebruik van 15 potentiële predictorvariabelen en een constante, minimaal 48 (3x16) tot 80 (5x16) waarnemingspunten noodzakelijk zijn. De gehanteerde indeling in groepen van

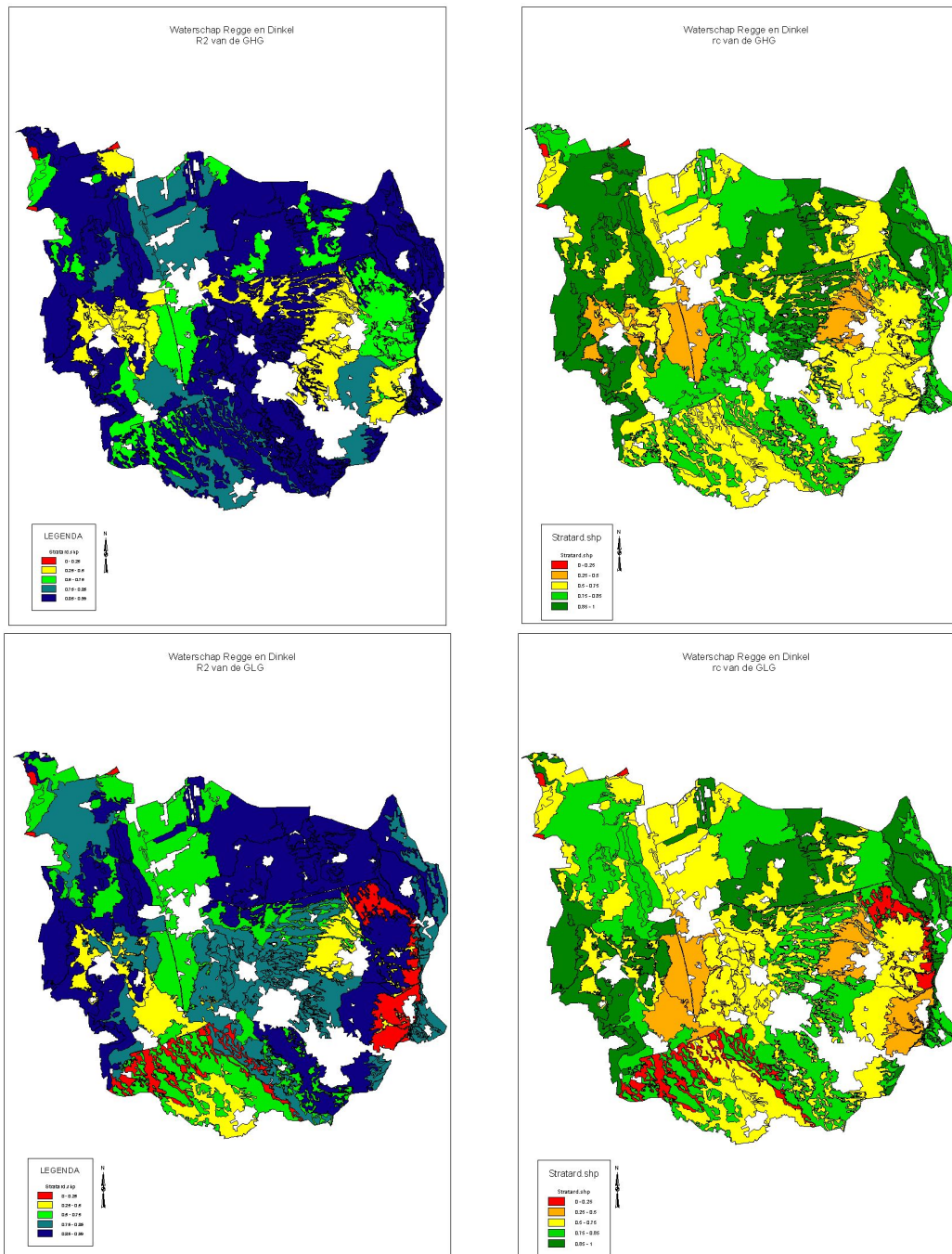
variabelen maakt het gewenste aantal variabelen wellicht iets kleiner. Over dit aspect is echter nog niet zo veel bekend. Bij de Gd-actualisatie hebben de strata meestal 20 tot 40 puntlocaties, hetgeen te gering is voor het verkrijgen van stabiele modellen. Bij een gemiddelde punt dichtheid van 1 punt per 100 ha is de minimale grootte van een stratum 4800 tot 8000 ha. Voor het waterschap Regge en Dinkel komt dit overeen met een maximaal aantal strata van 17 tot 29. Bij de Gt-actualisatie is gebruik gemaakt van strata met een gemiddeld oppervlak van 3000 ha (Finke *et al.*, 2002; Kekem *et al.*, 2005). Indien uitgegaan wordt van een gemiddelde stratum grootte van 3000 ha en uitgegaan wordt van de eerdergenoemde vuistregel is de gewenste punt dichtheid 1 punt per 62.5 ha ( $3000/48$ ) tot 1 punt per 37.5 ha ( $3000/80$ ). Bij het gebruik van een gemiddelde stratum grootte van 3000 ha komt het er op neer dat de minimaal gewenste punt dichtheid uitkomt op ongeveer 1 meetpunt per 50 ha.

Het mogelijk voorkomen van gelegheidsfits maakt het lastig om strata alleen op basis van de verklaarde variantie en richtingscoëfficiënt te beoordelen. Indien de regressierelatie voor een stratum gebaseerd is op een zeer gering aantal waarnemingen is het bijvoorbeeld dankzij een gelegheidsfit mogelijk dat veel variantie wordt verklaard en de richtingscoëfficiënt hoog is. In deze situatie is het goed mogelijk dat het model de puntwaarnemingen goed beschrijft, maar weinig voorspelkracht heeft. Daarnaast is in dergelijke gevallen de berekende onnauwkeurigheid dankzij de hoge verklaarde variantie laag. Indien met dit soort gelegheidsfit-modellen voorspellingen worden uitgevoerd zal de berekende onzekerheid ten onrechte te laag zijn en is derhalve de onzekerheid onderschat. Ook in eerder onderzoek heeft men geconstateerd dat de berekende onzekerheid wordt onderschat indien gebruik wordt gemaakt van lage punt dichtheden (Hoogland *et al.*, 2004). Daarnaast heeft men in dit onderzoek aangegeven dat het hierbij kan gaan om zowel systematische als toevallige fouten. De koppeling met de grootte van het stratum en de daarmee samenhangende kans op gelegheidsfits is in dit onderzoek echter niet als verklaring naar voren gekomen.

Aangezien bij de Gd-kartering voor verreweg de meeste strata niet wordt voldaan aan de vuistregel is beoordeling van strata op basis van de verklaarde variantie en de richtingscoëfficiënt van het maaiveldsregressiemodel niet zinvol.

Door de kriging wordt de afvlakkende werking deels weer tenietgedaan. Het residu wordt immers vanuit de puntgegevens aan de hand van het semivariogram geïnterpoleerd. De mate waarin de eventuele afvlakking wordt opgevangen door de kriging is in hoge mate afhankelijk van de afstand tussen de puntgegevens in relatie tot het gehanteerde semivariogram. Hierbij zijn vooral de nugget en de range van het semivariogram van belang. De range geeft aan tot welke afstand de ruimtelijke correlatie reikt, en is daarmee een maat (standaard: 2/3 van de range) die aangeeft tot op welke afstand de puntgegevens nog enige invloed hebben op de uiteindelijke kaart. De nugget is een maat voor de niet verklaarde korteafstandsvariatie. Een relatief grote nugget (groot ten opzichte van de sill) heeft tot gevolg dat de puntgegevens relatief weinig invloed hebben op het uiteindelijke kaartbeeld. Aangezien er binnen de procedures een stratumspecifiek variogram wordt gemaakt is moeilijk aan te geven hoeveel invloed de puntgegevens hebben. Het variogram wordt

immers op basis van de pseudomeetfout gecorrigeerd (§ 5.5). De correctie is groter naarmate de pseudomeetfout groter is, waardoor de nugget kan afnemen tot 0. Dit heeft tot gevolg dat de invloed van de puntgegevens toeneemt naarmate de pseudomeetfout groter is. Aangezien bij de kriging de puntinformatie een belangrijke rol speelt moet wederom worden opgemerkt dat achteraf gezien de buisinformatie wellicht beter niet bij de interpolatie moet worden meegenomen.



*Figuur 5.7 Ruimtelijk beeld van de verklaarde variantie (links) en de richtingscoëfficiënt (rechts) voor de GHG (boven) en GLG (onder) voor de afzonderlijke strata binnen het waterschap Regge en Dinkel.*

## 5.8 Resultaten voor het waterschapsgebied

Voor de gebiedsdekkende voorspellingen van de GxG zijn voor ieder stratum regressiemodellen geselecteerd, die als predictor gebruik maken van de gebiedsdekkende hulpinformatie. Er is vervolgens een gestandaardiseerd fouten-model (variogram) gefit op de verschillen tussen de regressievoorspelling en de voorspelling op de gerichte opname punten (De Gruijter *et al.*, 2004). De parameters van het variogram staan in tabel 5.2. De gebruikte regressiemodellen voor de vlakdekkende voorspelling zijn opgenomen als bijlage op de Cd-rom (zie Cd-rom\modelsamenvattingen\R2rd-modelsamen.txt). Op basis van de GxG op meetlocaties, het per stratum gestandaardiseerde variogram en de geselecteerde regressiemodellen per stratum is de GxG voorspeld.

Tabel 5.2. Kenmerken en parameters van het gebruikte gestandaardiseerde variogram.

| GxG | Type         | Nugget[-] | Sill[-] | Range[m] |
|-----|--------------|-----------|---------|----------|
| GHG | Exponentieel | 0.18      | 0.78    | 550      |
| GVG | Exponentieel | 0.38      | 0.55    | 550      |
| GLG | Exponentieel | 0.18      | 0.78    | 550      |

De ruimtelijke variatie bij de GHG is sterk afhankelijk van het stratum. Stratumgrenzen zijn daardoor over het hele gebied goed te herkennen. Grote delen van het gebied laten een heel vlak beeld zien in het ruimtelijk beeld van de voorspelde GHG. In de omgeving van Vriezeveen kan men dat verwachten, omdat hier het grondwaterstandverloop sterk beïnvloed wordt door het oppervlakte-waterbeheer. Het vlakke beeld is echter ook zichtbaar in gebieden waar veel keileem en tertiaire klei voorkomt in de ondiepe ondergrond. Met name op de stuwwal Oldenzaal– Enschede is weinige ruimtelijke variatie aanwezig, terwijl dat op de stuwwal van Ootmarsum wel het geval is. De stuwwallen in het westen van het gebied komen er duidelijk als droge gebieden uit. Langs de randen van deze stuwwallen ligt vaak een zone waar de GHG boven het maaiveld wordt voorspeld. Dit komt doordat het regressiemodel goed past op de stuwwal zelf, maar niet op de overgangszone met een abrupte overgang naar lagere gronden. Er komen strata naast elkaar voor waar in het ene stratum veel variatie voorkomt en in het naastliggend stratum heel weinig, terwijl men op basis van het hydrologisch karakter van het gebied een vergelijkbaar patroon zou verwachten. Op een aantal plekken, verspreid door het waterschap, komt kwel voor. Deze plekken zijn op de Gd-kaarten nauwelijks te herkennen. Door het voorkomen van hogere gronden met keileem of tertiaire klei naast hogere gronden zonder keileem of tertiaire klei is het vaak moeilijk een goed model te fitten. Op deze manier ontstaat een afvlakking in het kaartbeeld, die bij de gebieden met gestuwde afzettingen het sterkst is. De GLG ligt op veruit het grootste deel van het waterschap dieper dan 1,20 m; natte gronden (GLG < 80 cm) komen maar heel weinig voor. Grootschalige patronen zijn in het GLG beeld te herkennen, maar ook hier valt het verschil in ruimtelijke variatie tussen de verschillende strata op. De patronen van de GHG en de GLG zijn ook niet altijd gelijk en dat kan lokaal leiden tot “omgekeerde” voorspelde GxG’s, waarbij de GLG hoger uit kan komen dan de GHG. De voorspelfouten van de GHG liggen in een groot deel van het gebied tussen 20 en 30 cm. Op de stuwwallen in het westen van het waterschap zijn de voorspelfouten aanmerkelijk groter en bedragen soms meer

dan 1 meter. De voorspelfout neemt in relatie tot de afstand met een gerichte opname locatie af. De voorspelfout van de GLG heeft een grotere spreiding dan bij de GHG ( 10 – 40 cm). Ook bij de GLG zijn de voorspelfouten op de stuwwallen fors groter ( tot meer dan 1 meter).

## 6 Interpolatie van detailkarteringen

Aangezien de resultaten van de Gd-methode niet altijd plausibel zijn is besloten gebruik te maken van de digitaal beschikbare detailkarteringen. De detailkarteringsinformatie is gebruikt in de vorm van een 'update', waarbij de Gd-informatie is vervangen door de informatie uit detailkarteringen. Om de beschikbare recente gekarteerde detailkarteringen te combineren met de Gd-kaart dienen de GxG gegevens uit de detailkarteringen te worden omgezet naar gridbestanden van 25 bij 25 meter. Indien dit wordt gedaan door het simpelweg vergriden van de polygonenkaart, wijkt het grid duidelijk af van de Gd-kaart, omdat men aan ieder kaartvlak slechts één gemiddelde waarde voor de GHG en GLG heeft toegekend. Deze waarde wordt normaliter bepaald door middeling van alle GHG en GLG schattingen op de boorlocaties in elk onderscheiden kaartvlak.

Een andere mogelijkheid is het gebruik van de hierboven genoemde boorpuntinformatie en deze te interpoleren binnen de recentelijk gekarteerde gebieden. Door uit te gaan van deze informatie kan men middels deze methode ook de GxG variatie in een kaartvlak meenemen. De GxG kaarten die op deze wijze worden vervaardigd zijn dan eenvoudig te combineren met de kaarten uit de Gd-kartering. In de volgende paragrafen wordt ingegaan op de interpolatiemethode die is toegepast om vanuit de boorpuntinformatie te komen tot gebiedsdekkende GxG-kaarten.

### 6.1 Detailkarteringen

Een detailkartering is een kartering van de bodem en de grondwatertrap op een gedetailleerde schaal (meestal schaal 1 : 5 000, 10 000 of 25 000). De waarnemingsdichtheid is afhankelijk van de kaartschaal en varieert van ca. 2 boringen per ha (schaal 1 : 5 000) tot ca. 1 boring per 4 à 5 ha (schaal 1 : 25 000). Detailkarteringen geven een gedetailleerdere informatie over de bodemgesteldheid dan de bodem- en Gt-kaart schaal 1 : 50 000. Ook wordt er dieper geboord (varierend van 1,50 tot maximaal 3,20 m-mv., tegenover maximaal 1,20 –mv. op de Bodemkaart van Nederland schaal 1 : 50 000).

Ter voorbereiding op een bodemgeografisch onderzoek worden de beschikbare grondwaterstandsgegevens voor een gebied grondig onderzocht. In de praktijk komt het er op neer dat buisgegevens, gegevens over eventuele ingrepen in de waterhuishouding, grondwaterontrekkingen, maaiveldsgegevens en de waterstaatskaart worden geraadpleegd. Bij de start van de opname bestaat er hierdoor kennis over de grootte van de fluctuatie van de grondwaterstand, over de variatie van de fluctuatie binnen het gebied al dan niet gerelateerd aan het voorkomen van natte en droge gronden of aan bepaalde landschapskenmerken (Ten Cate *et al.*, 1995). Voor de veldschattingen van de GHG en de GLG worden profiel-, veldkenmerken en gemeten grondwaterstanden in boorgaten gebruikt. Profielkenmerken worden



veroorzaakt door de jaarlijkse fluctuatie van de grondwaterstand. Veldkenmerken geven de invloed van het jaarlijkse verloop van de grondwaterstand aan.

Met betrekking tot de fluctuatie van de grondwaterstand zijn in een bodemprofiel drie zones te onderscheiden:

- de zone boven de hoogste grondwaterstand, waarin door voldoende aëratie nauwelijks of geen reductieprocessen optreden. In gronden met een hoge grondwaterstand is deze afwezig;
- de zone waarin zich de fluctuatie van de grondwaterstand afspeelt. In deze zone met afwisselend oxydatie- en reductieprocessen ontstaan door herverdeling van bepaalde verbindingen (o.a. ijzer) roest en/of reductievlekken. In ijzerhoudende gronden zijn dit de klassieke gley-kenmerken, in ijzerloze gronden de blekingsvlekken. Het GHG niveau bevindt zich in deze zone, veelal in het bovenste gedeelte;
- de zone beneden de diepste grondwaterstand (ook wel de permanent gereduceerde zone genoemd, Cr-horizont), waarin door permanente verzadiging met water oxydatieprocessen ontbreken. De GLG bevindt zich afhankelijk van de samenstelling van het moedermateriaal veelal net iets boven de permanent gereduceerde zone.

De veldschatting van de GLG geeft gewoonlijk minder problemen dan die van de GHG. Voor zowel de GHG als de GLG is de verschijningsvorm afhankelijk van het moedermateriaal waarin zij zijn gevormd en slechts een deel van deze verschijnselen heeft betrekking op het actuele grondwaterstandsverloop. Profielkenmerken kunnen geheel of gedeeltelijk horen bij het vroegere grondwaterregime en dus fossiel zijn. Bovendien kunnen profielkenmerken verdwenen zijn door diepere grondbewerkingen. Profielkenmerken die mede bepalend zijn voor de veldschattingen van de GHG en de GLG zijn:

- het structuurprofiel;
- de profielontwikkeling;
- de aard en samenstelling van het moedermateriaal;
- de geologische opbouw;
- het vochtgehalte en de grondwaterstand.

Naast profielkenmerken wordt bij veldschattingen ook gelet op veldkenmerken. Veldkenmerken zijn o.a. te ontleen aan de fysische geografie van het gebied (landschap, reliëf, dichtheid van het afwaterings- en ontwateringsstelsel, slootwaterstand, begreppeling, buisdrainage en bodemgebruik) alsmede aan de vegetatie (vocht – en droogte-indicatoren). De veldkenmerken worden bij een kartering tevens gebruikt om de begrenzing van een gebied met dezelfde grondwatertrap vast te stellen.

Gewoonlijk geeft geen van de kenmerken een ondubbelzinnige aanwijzing over het GHG- en GLG-niveau. Zelden is een kenmerk zo uitgesproken dat geen twijfel behoeft te bestaan over de daaraan te ontleen gevolgtrekking. De veldschatting is meer dan een uit een combinatie van kenmerken opgebouwd totaalbeeld. Op den duur ontstaat door ervaring en gebiedskennis voor de GHG en de GLG een zekere

verwachtingswaarde die voortdurend aan kenmerken getoetst wordt en zonodig wordt gecorrigeerd. Een hulpmiddel hierbij is de kennis van de GHG-GLG-fluctuatie per grondwatertrap en in stambuizen (Ten Cate *et al.*, 1995). Daarnaast wordt veelal gebruik gemaakt van gerichte opnamen in een aantal boorgaten die vergeleken worden met relevante stambuizen in de omgeving.

De schattingen van de GxG's worden meestal onderbouwd door 2 gerichte opnames van de freatische grondwaterstand in een groot aantal boorgaten en representatieve stambuizen ten tijde van het GHG en GLG moment. Indien gewenst wordt het meetnet van stambuizen verdicht met tijdelijke buizen. Hierdoor is het mogelijk gerichte opnames te relateren aan nabijgelegen buizen in dezelfde geohydrologische eenheid. Op deze manier wordt er voor gezorgd dat de kartering betrekking heeft op de actuele grondwatersituatie.

Indien een detailkartering wordt uitgevoerd om als basis te dienen voor de ruilwaardebepaling van gronden in een landinrichtingsgebied dan wordt de bodem- en Gt-kaart gecontroleerd door de ingelanden. Zij kunnen namelijk bezwaar indienen als zij het niet eens zijn met ruilwaarde die aan hun percelen is toegekend. Deze ruilwaarde hangt in sterk mate af van het voortbrengend vermogen (bodem- en Gt) van de grond. De bezwaren worden vervolgens door een bodemkundige in het veld gecontroleerd en eventueel bijgesteld (ruilwaarde lees: bodem en/of Gt). In het algemeen zijn er na de tervisielegging van de ruilwaardekaart weinig bezwaren ten aanzien van de bodemgesteldheid (bodem en Gt). Dit betekent dat de uiteindelijk goedgekeurde ruilwaardekaart wordt gedragen door de direct betrokkenen in de streek.

Verder zijn er ook detailkarteringen waarbij naast de gerichte opnames ook in elk boorgat een grondwaterstand wordt gemeten (zogenaamde waterwinkarteringen). Ook hier vindt controle plaats door de ingelanden. Zij kunnen bezwaar indienen als zij het niet eens zijn met de vlakkenkaart (homogene kaartvlakken ten aanzien van de bodemfysische eigenschappen van de bodem en Gt) en/of de hoogte van het uiteindelijk uit te keren schadebedrag. Bezwaren ten aanzien van de hoogte van het schadebedrag kan ondermeer afhangen van een fout in de vlakkenkaart (lees fout in o.a. bodem en/of Gt-kaart). Dit komt in de praktijk vrijwel niet voor. Detailkarteringen zijn en worden in heel Nederland uitgevoerd. Er is vanaf de jaren vijftig uit de vorige eeuw tot op heden ruim 80 % van Nederland op deze wijze gekarteerd. Een nadeel is echter, dat een deel van deze informatie niet meer actueel is en dat het merendeel van de bodem en/of Gt kaarten alleen analoog beschikbaar is.

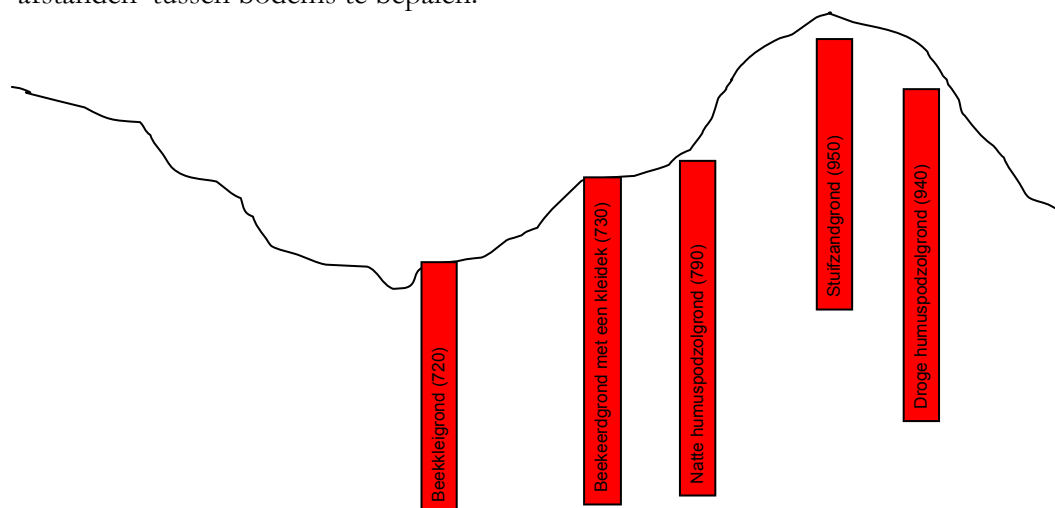
Over de onzekerheid van veldschattingen is nog niet zo veel bekend. Het bepalen van de onzekerheid is complex, aangezien deze mede afhankelijk is van de ervaring van de karteerder en het type gebied. Doorgaans is men van mening dat men bij veldschattingen niet vaak een afwijking zal hebben van 20-30 cm of meer. In § 4.5 is een inschatting gegeven van de onzekerheid voor verschillende bodemtypes.

## 6.2 Ruimtelijke interpolatie op basis van verwantschap

Bij interpolatietechnieken wordt meestal een onderlinge samenhang van punten verondersteld die groter is naarmate de afstand tussen de punten kleiner is (Burrough en McDonnell, 1998). Zowel bij bijvoorbeeld 'inverse distance' als bij kriging wordt uitgegaan van dit principe. Het principe is gebaseerd op een verwantschap of samenhang tussen puntlocaties. De mate waarin de verwantschap bestaat wordt vastgesteld op basis van puntinformatie. Indien gebruik wordt gemaakt van trendanalyse door middel van regressie dan is het mogelijk om bij interpolatie hulpinformatie mee te nemen. Ook bij co-kriging is het mogelijk een verwantschap op basis van een andere variabele mee te nemen. Afgezien van 'inverse distance' wordt bij dit soort interpolatietechnieken de samenhang voor het gehele gebied of voor van te voren gedefinieerde strata vastgesteld. Vooral bij puntgegevens die met een hoge resolutie beschikbaar zijn, is het wenselijk de verwantschap of samenhang tussen puntlocaties lokaal vast te stellen. Daarnaast is het gebruik van strata over het algemeen niet wenselijk aangezien dit kan leiden tot scherpe overgangen tussen strata. Verder is het mogelijk om gebruik te maken van een combinatie van trendanalyse en kriging in de vorm van 'universal kriging'. Deze techniek wordt ook gebruikt bij de Gd-actualisatie maar heeft eveneens als nadeel dat de samenhang voor het gehele gebied of binnen van te voren gedefinieerde strata wordt vastgesteld. Bij de Gd-actualisatie wordt de trend in de vorm van een regressie met hulpinformatie per stratum vastgesteld, waarna de residuen voor het gehele gebied worden gebruikt voor het opstellen van het semivariogram. Bij de interpolatie van de detailkarteringsinformatie is het gezien de hoge punt dichtheid mogelijk om moving window kriging toe te passen. Voordelen hiervan zijn dat er gebruik wordt gemaakt van lokale informatie. Het nadeel is echter dat op voorhand niet bekend is wat de grootte van het window zal moeten zijn en het een project op zich is om deze techniek toe te passen in relatie tot de detailkarteringen. Uiteindelijk gaat het er bij de ruimtelijke interpolatie voornamelijk om dat er geïnterpoleerd wordt op basis van verwantschap. Hierom is er een eenvoudige nieuwe ruimtelijke interpolatietechniek ontwikkeld welke dicht staat bij de traditionele karteringstechnieken.

Bij de nieuwe techniek wordt gebruik gemaakt van de inverse distance techniek, waarbij er van wordt uitgegaan dat de onderlinge samenhang tussen punten toeneemt naarmate de afstand tussen de punten kleiner is. De verwantschap, welke bij 'inverse distance' interpolatie normaal gesproken een functie is van de onderlinge afstand, wordt in dit geval echter verfijnd door andere factoren mee te nemen. Hierbij kan bijvoorbeeld gedacht worden aan de hoogte van het maaiveld. Vooral bij het interpoleren van de freatische grondwaterstand mag men immers verwachten dat de verwantschap met een nabijgelegen andere locatie groter is naarmate de hoogteligging van het maaiveld meer overeenkomsten vertoont. Bij interpolatie met gebruikmaking van de hoogte van het maaiveld is het evenals bij interpolatie in de ruimte mogelijk om afstanden te bepalen. Het enige verschil is dat bij het gebruik van de hoogte van het maaiveld een 'afstand' in de verticale richting wordt bepaald en derhalve de afstand gelijk is aan het hoogteverschil tussen de punten. Nog een stapje verder is het gebruik van bodemtypen. Indien wederom de grondwaterstand als voorbeeld wordt gebruikt dan kan men zich voorstellen dat, mits er gekeken wordt

binnen een voldoende kleine straal, de grondwaterstand binnen een bodemtype meestal meer overeenkomst vertoont dan die tussen bodemtypen. Omdat bodemtype een categorische variabele is kunnen 'afstanden' tussen bodemtypen niet direct worden bepaald. Het is echter wel mogelijk om bodemtypen op basis van hun landschappelijke ligging om te zetten naar een ordinale schaal (figuur 6.1). Van bodemtypen die in het landschap naast elkaar liggen mag men verwachten dat de onderlinge samenhang en verwantschap in de meeste gevallen groter is dan bij bodemtypen die in het landschap ver uit elkaar liggen. Het ordinaal opdelen van bodemtypen op basis van hun landschappelijke ligging maakt het mogelijk om 'afstanden' tussen bodems te bepalen.



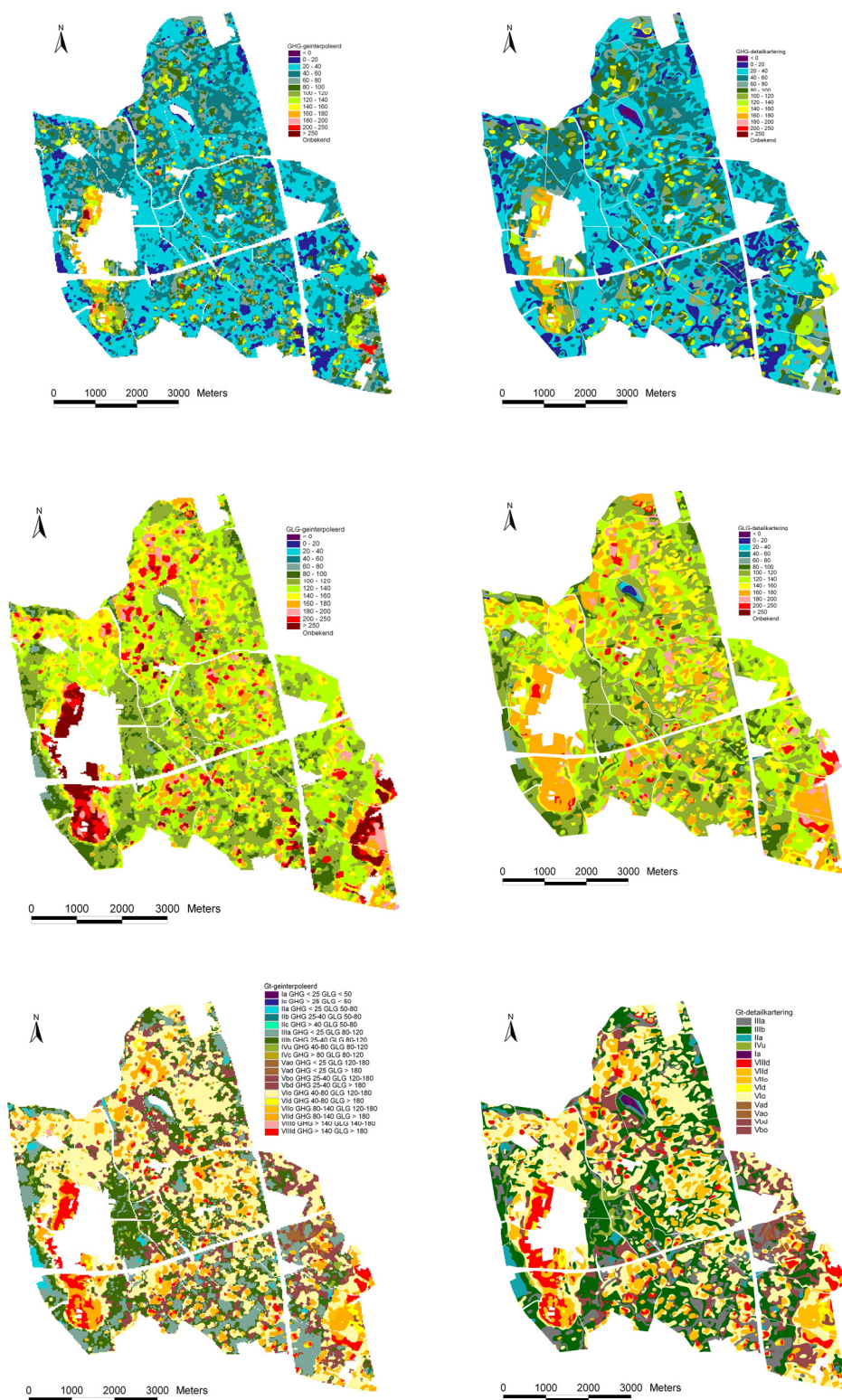
*Figuur 6.1 Schematische weergave van het landschap waarbij de bodemtypen ordinaal zijn ingedeeld.*

Door deze benadering en door gebruik te maken van verschillende 'afstanden' is het mogelijk te interpoleren op basis van verschillende verwantschappen. Naast de afstand hebben we nu ook de mogelijkheid om te interpoleren op basis van hoogte van het maaiveld en bodemtypen. Combinatie van dergelijke verwantschap parameters is door gebruik te maken van weging eenvoudig te realiseren. Doordat de verschillende 'afstanden' die gebruikt worden een duidelijk verschillende schaal hebben, waardoor onderling vergelijk lastig is, is er voor gekozen de afstand te normaliseren alvorens een weging toe te passen. Bij deze techniek is het tevens mogelijk om bij de interpolatie de ruimtelijke samenhang sneller of langzamer af te laten nemen door simpelweg gebruik te maken van lineaire, kwadratische of 3<sup>e</sup> machtsfuncties.

### **6.3 Interpolatie van de puntinformatie uit de detailkarteringen**

De hierboven behandelde interpolatietechniek is voor het eerst toegepast voor het landinrichtingsgebied Enter-Rijssen. In 1990 is in dit gebied een detailkartering (schaal 1 : 10 000) uitgevoerd (Dodewaard en Kiestra, 1990). De bodemkundige en hydrologische informatie uit deze kartering is digitaal beschikbaar en opgeslagen in het archief van Alterra. Voor het toepassen van de nieuwe interpolatiemethode in het

onderhavige gebied is gebruik gemaakt van de co-variabelen boorafstand, de hoogte van het maaiveld (AHN gridbestand van 25 bij 25 meter) en het bodemtype (bodemkaart Enter-Rijssen). Het bodemtype is op basis van haar landschappelijke ligging ordinaal opgedeeld. Bij het ordinaal opdelen wordt naast het bodemtype(landschap) ook rekening gehouden met de aanwezigheid van storende lagen in het bodemprofiel. Deze lagen hoeven niet herkenbaar in het landschap voor te komen. Het gevolg hiervan is dat de ordinale afstand tussen het wel of niet voorkomen van bv. lossleemlagen in een zelfde groep van bodemtypen in dit geval niet groot is, maar wel onderscheidend. De interpolatietechniek houdt ook rekening met de gevoeligheid van co-variabelen op de uitkomsten van de interpolatie resultaten in een bepaald gebied. Deze gevoeligheid kan worden gestuurd middels het toekennen van een wegingsfactor aan elk van de gebruikte hulpvariabelen (zie ook vorige subparagraaf). De gevoeligheid van de hulpvariabelen op de GxG uitkomsten is voor het gebied Enter Rijssen uitgebreid getest. Voor de controle en bijsturing (middels weging) is de bodem- en Gt-kaart schaal 1 : 10 000 gebruikt. Uit de analyse is gebleken dat de gevoeligheid (verwantschap) van de hulpvariabele bodem (ordinale bodemkaart) op de geïnterpoleerde GxG resultaten (alleen Gt gridpatronen vergeleken met de Gt polygonen op de Gt kaart) voor dit gebied het grootst was. Uit analyse van de testresultaten is verder gebleken dat de GxG uitkomsten goed overeen komen met de Gt polygonen op de Gt-kaart van Enter Rijssen schaal 1 : 10 000 (zie figuur 6.2), wanneer bij de interpolatietechniek de volgende weging voor de hulpvariabelen werd gebruikt: de hoogte van het maaiveld (inverse kwadratische machtfunctie), de ordinale bodemgegevens (inverse lineaire machtfunctie) en de afstand tussen de boringen (inverse kubische machtfunctie). De bovengenoemde weging van de hulpvariabelen is vervolgens ook gebruikt om alle recente GxG puntgegevens uit de detailkarteringen gebiedsdekkend (binnen de detailkarteringsgebieden) te interpoleren. Uit een visuele vergelijking van deze resultaten met de Gt's volgens de detailkarteringen blijkt, dat de geïnterpoleerde Gt patronen op de gridkaart goed overeenkomen met de Gt polygonen van de detailkarteringen. Naast het in kaart brengen van de GxG is de nieuwe interpolatie techniek ook toegepast voor het ruimtelijk in kaart brengen van de in § 4.5 vastgestelde voorspelfouten.



Figuur 6.2 GxG-kaarten op basis van de nieuw ontwikkelde interpolatie techniek (links) versus de GxG-kaarten uit de detailkarteringen (rechts)



## 7 Een eenvoudige actualisatiemethode op basis van neerschaling

Aangezien de Gd-methode kaarten oplevert waarin patrooninformatie ontbreekt en derhalve niet bruikbaar is zonder informatie over de onzekerheid mee te nemen, is in het kader van een landelijke studie een methode ontwikkeld waarbij vooral is gelet op het behoud van patrooninformatie (Van der Gaast en Massop, 2005a; Van der Gaast *et al.*, 2005). Om op een snelle en eenvoudige wijze een indruk te krijgen van de actuele Gt, waarbij rekening wordt gehouden met patronen, is deze methode toegepast op het beheergebied van waterschap Regge en Dinkel. Bij de landsdekkende toepassing is gebruik gemaakt van een landelijke set van peilbuisgegevens, die beschikbaar waren van een groot aantal locaties. Voor een regionale toepassing is het wellicht mogelijk om gebruik te maken van puntgegevens die verzameld zijn in het kader van detailkarteringen. Een eventuele discrepantie tussen buisinformatie en karteringsinformatie wordt op deze wijze ondervangen. Een duidelijk voorbeeld hiervan zijn schijngrondwaterspiegels die bijvoorbeeld voor kunnen komen als gevolg van klei of leemlagen en veelal resulteren in een Gt V of V\*. Deze schijngrondwaterspiegels kunnen nauwelijks worden gemeten in peilbuizen, terwijl keileem en tertiaire klei in een relatief groot gedeelte van het waterschapsgebied voor komen.

### 7.1 Werkwijze

Door Van der Sluijs (1990) is onderzoek gedaan naar de gemiddelde waarden van de GHG en GLG voor de verschillende Gt-'s. Hierbij is gebruik gemaakt van peilbuizen, waarin langjarig grondwaterstanden zijn gemeten. Dit onderzoek heeft geresulteerd in de bekende "Van der Sluijs tabel". Recent is een onderzoek uitgevoerd naar de karakterisering van de freatische grondwaterstand op basis van puntgegevens (Van der Gaast en Massop, 2003). Hiervoor is de fluctuatie van de grondwaterstand op een groot aantal peilbuislocaties onderzocht, hetgeen heeft geresulteerd in een uitgebreide dataset die bestaat uit 3117 buislocaties. Op basis van deze gegevens is eveneens een tabel opgezet die de relatie weergeeft tussen de Gt en de GxG, welke bestaat uit de GHG, GVG en GLG (tabel 7.1).

De gegevens in tabel 7.1 kunnen worden vertaald in een kansverdeling. Deze kansverdeling komt dus ongeveer overeen met het klassegemiddelde van de desbetreffende Gt en de totale klassebreedte. Deze informatie kan gebruikt worden om de Gt-vlakken in de bestaande bodem- en Gtkaart schaal 1 : 50 000 nader in te delen. Naast de kansverdeling van de Gt is immers ook de maaiveldverdeling bekend. Door gebruik te maken van het AHN (25 x 25) kan ook voor het maaiveld een kansverdeling worden gemaakt. In figuur 2.2 zijn beide verdelingen schematisch weergegeven. Door de kansverdeling voor het maaiveld binnen een Gt-vlak op de bodem- en Gtkaart schaal 1 : 50 000 te transformeren naar een kansverdeling voor de GxG, is een kaart te maken van de GxG. Op deze manier wordt op een

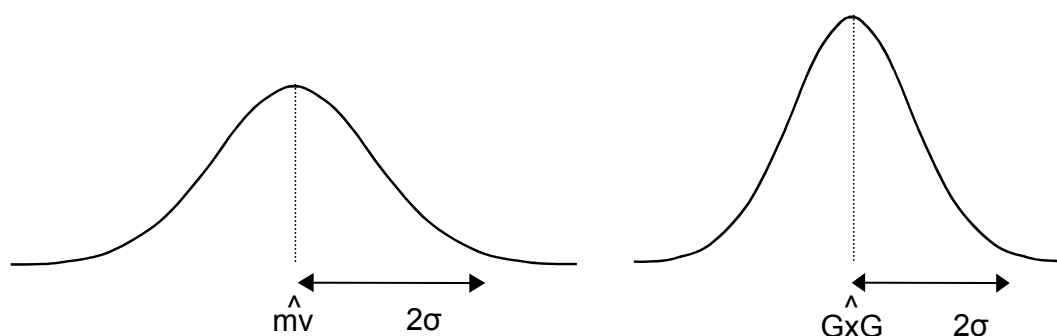


eenvoudige wijze een neerschaling van de Gt naar gridcellen van 25 meter bewerkstelligd (Van der Gaast *et al.*, 2005). Het gebruik van tabel 7.1 voor het neerschalen van de Gt levert kaartbeelden van de GxG voor de situatie van de karteringsperiode van de bodem- en gткаart schaal 1 : 50 000.

Tabel 7.1 Relatie tussen de Gt en de GxG op basis van tijdreeksresultaten voor peilbuisgegevens (cm min maaiveld) (naar: Van der Gaast en Massop, 2005a)

| Gt   | Aantal | GHG               |       | GVG         |                   | GLG  |             |                   |      |
|------|--------|-------------------|-------|-------------|-------------------|------|-------------|-------------------|------|
|      |        | Gemiddeld<br>(cm) |       | Std<br>(cm) | Gemiddeld<br>(cm) |      | Std<br>(cm) | Gemiddeld<br>(cm) |      |
| I    | 102    | -5,3              | (-5)  | 12,2        | 10,6              | 11,0 | 36,5        | (38)              | 9,2  |
| II   | 178    | 4,8               | (7)   | 14,4        | 28,1              | 13,5 | 65,6        | (66)              | 8,7  |
| II*  | 44     | 35,9              | (32)  | 9,1         | 53,4              | 6,6  | 73,4        | (67)              | 6,0  |
| III  | 177    | 13,3              | (17)  | 9,0         | 43,4              | 11,0 | 97,7        | (103)             | 11,4 |
| III* | 108    | 32,7              | (32)  | 4,2         | 60,4              | 7,0  | 101,9       | (102)             | 11,0 |
| IV   | 176    | 56,7              | (56)  | 11,7        | 78,2              | 10,2 | 106,9       | (104)             | 10,4 |
| V    | 58     | 16,8              | (17)  | 6,2         | 56,1              | 10,6 | 139,7       | (135)             | 16,9 |
| V*   | 118    | 33,5              | (32)  | 4,3         | 70,5              | 10,1 | 145,6       | (142)             | 22,4 |
| VI   | 716    | 62,4              | (61)  | 11,2        | 95,6              | 12,8 | 159,2       | (155)             | 26,1 |
| VII  | 1005   | 105,6             | (101) | 16,3        | 134,1             | 17,7 | 191,1       | (190)             | 33,0 |
| VIII | 437    | 201,1             | (185) | 81,0        | 228,6             | 81,9 | 294,6       | (281)             | 87,3 |

() waarde in de Van der Sluijs tabel



Figuur 2.2 Schematische weergave van de kansverdeling voor het maaiveld ( $m_v$ ) en de GxG (naar: Van der Gaast en Massop, 2005a).

Om de droge gebieden beter tot uiting te laten komen is een variant op de methode ontwikkeld. Naarmate de grondwaterstand dieper wordt neemt de relatie met het maaiveld af. Het grondwatervlak vertoont hierdoor een steeds vlakker verloop. Om hiermee rekening te kunnen houden is de procedure enigszins aangepast, door de mogelijkheid op te nemen om een grondwaterstandsdiepte en een percentage op te geven. Het percentage is een schatting waarmee aangegeven wordt in hoeverre de grondwaterstand het maaiveld volgt. De opgegeven grondwaterstandsdiepte is een schatting van de diepte waarop verondersteld wordt dat de relatie met het maaiveld sterk afneemt.

## 7.2 Actuele situatie op basis van landelijke gegevens

Door de jaren heen hebben allerlei ingrepen in de waterhuishouding plaatsgevonden die voornamelijk tot verdroging hebben geleid (Amstel *et al.*, 1989). Daarnaast is een deel van de verdroging (vooral in de laatste decennia) ook toe te schrijven aan een aanzienlijke toename van de droge stofproductie (toename waterverbruik) in de meeste landbouwgewassen door veredeling. Om meer inzicht in de verschuiving van de Gt te krijgen zijn in de eerder genoemde landsdekkende studie de buislocaties over de Gt-vlakken van de bodemkaart 1 : 50 000 gelegd (Van der Gaast en Massop, 2005a; Van der Gaast *et al.*, 2005). Vervolgens is het actuele zwaartepunt van de Gt-kaartvlakken van de bodemkaart bepaald (tabel 2.2). Uit tabel 2.2 kan worden geconcludeerd dat er verdroging heeft plaatsgevonden. Voor elk kaartvlak behalve Gt VIII komt de gemiddelde GxG veel lager uit dan het gemiddelde dat kenmerkend is voor de desbetreffende Gt klasse. Voor een aantal Gt-klassen op de bodemkaart blijkt dat de gemiddelde GxG buiten de destijds gekarteerde Gt klasse ligt. Voor Gt V en V\* welke vaak voorkomt door de aanwezigheid van storende lagen, dient te worden opgemerkt dat deze in buizen veelal moeilijk te bepalen is. Dit heeft tot gevolg dat vooral de GHG voor de Gt V en V\* veel droger uitvalt.

Tabel 7.2 Relatie tussen de Gt en de GxG op basis van tijdreeksresultaten voor peilbuislocaties (landelijk) in kaartvlakken van de bodemkaart 1 : 50,000 (cm min maaiveld) (naar: Van der Gaast en Massop, 2005a).

| Gt   | Aantal | GHG             |          | GVG             |          | GLG             |          |
|------|--------|-----------------|----------|-----------------|----------|-----------------|----------|
|      |        | Gemiddelde (cm) | Std (cm) | Gemiddelde (cm) | Std (cm) | Gemiddelde (cm) | Std (cm) |
| I    | 65     | 9,0             | 33,8     | 29,6            | 36,8     | 61,9            | 45,3     |
| II   | 302    | 28,3            | 34,3     | 51,7            | 34,8     | 87,8            | 38,9     |
| II*  | 28     | 55,3            | 58,0     | 79,0            | 58,4     | 111,5           | 64,0     |
| III  | 453    | 56,8            | 42,6     | 84,0            | 42,5     | 134,7           | 49,3     |
| III* | 144    | 68,6            | 40,1     | 97,9            | 40,0     | 142,4           | 41,8     |
| IV   | 145    | 72,3            | 45,7     | 99,5            | 44,4     | 141,0           | 47,7     |
| V    | 358    | 82,5            | 61,2     | 113,5           | 60,0     | 178,9           | 68,2     |
| V*   | 217    | 77,8            | 41,7     | 111,8           | 41,2     | 174,0           | 48,6     |
| VI   | 914    | 97,3            | 54,1     | 127,9           | 53,2     | 189,4           | 61,1     |
| VII  | 381    | 138,3           | 70,0     | 166,7           | 70,5     | 234,4           | 77,4     |
| VIII | 103    | 154,3           | 152,4    | 180,1           | 153,2    | 239,8           | 153,1    |

Door gebruik te maken van de veldschattingen uit detailkarteringen is het mogelijk om een regionale tabel samen te stellen. Hierbij worden de puntgegevens uit de detailkarteringen over de bodemkaart 1 : 50 000 gelegd om de verschuiving van de Gt te bepalen. In tabel 7.3 is het gemiddelde en de spreiding op basis van de detailkarteringsinformatie weergegeven. De tabel is opgezet op basis van 111208 veldschattingen, verdeeld over een groot aantal detailkarteringen in het zandgebied binnen Nederland. Dankzij het grote aantal punten is het mogelijk meerdere regionale tabellen op te stellen. Uit vergelijkingen tussen regionale tabellen is gebleken dat de verschillen tussen de tabellen veelal gering zijn en maximaal enkele centimeters bedragen. Daarom is er voor gekozen om gebruik te maken van één tabel die gebaseerd is op gegevens binnen het zandgebied van Nederland.

De GVG wordt in het algemeen niet geschat in detailkarteringen. Deze informatie kan eenvoudig worden afgeleid uit de GHG en GLG door middel van een regressieformule (Van de Sluijs en Van Heesen, 1989). Er dient echter wel te worden opgemerkt, dat deze relaties algemeen van aard zijn. Hierdoor komen regionale afwijkende hydrologische omstandigheden (bv. storende lagen) wellicht niet tot uiting in de voorspelformule voor de GVG. Om dit probleem te ondervangen is de formule voor de GVG met behulp van multiple lineaire regressie analyse afgeleid uit de GHG's en GLG's die zijn berekend op 94 stambuislocaties in het onderzoeksgebied (Bijlage 1). Aan de hand van deze analyse is de volgende regressieformule bepaald:  $GVG = 0,70 \text{ GHG} + 0,25 \text{ GLG} + 13,73$  (se = 5,69). Uit de regressie analyse blijkt dat 98,4 % van de variantie van de GVG's kan worden verklaard door het regressiemodel. Dit betekent, dat er geen grote afwijkingen aanwezig zijn tussen de waarnemingen en de regressieformule. Hierbij moet echter worden opgemerkt dat natte Gt's en Gt V en V\* ondervertegenwoordigd zijn in de stambuizen-set. Met deze regressieformule zijn vervolgens de GVG's van de detailkarteringspunten bepaald. De GVG kon niet van alle detailkarteringspunten worden geschat, omdat bij sommige punten onvoldoende informatie aanwezig was over de geschatte waarde(n) van de GHG en/of GLG.

*Tabel 7.3 Relatie tussen de Gt en de GxG op basis van puntinformatie uit recente detailkarteringen in het zandgebied van Nederland in kaartvlakken van de bodemkaart 1 : 50 000 (cm min maaiveld)*

| Gt   | Aantal | GHG                |             | GVG                |             | GLG                |             |
|------|--------|--------------------|-------------|--------------------|-------------|--------------------|-------------|
|      |        | Gemiddelde<br>(cm) | Std<br>(cm) | Gemiddelde<br>(cm) | Std<br>(cm) | Gemiddelde<br>(cm) | Std<br>(cm) |
| I    | 1193   | 14.8               | 10.0        | 40.9               | 20          | 65.9               | 12.9        |
| II   | 10314  | 22.9               | 17.3        | 62.8               | 23.4        | 84.3               | 24.8        |
| II*  | 1045   | 35.2               | 16.3        | 62.8               | 23.4        | 98.7               | 25.1        |
| III  | 16156  | 33.9               | 20.7        | 69.1               | 21.0        | 117.4              | 28.5        |
| III* | 9369   | 38.4               | 20.3        | 66.9               | 18.4        | 114.6              | 25.5        |
| IV   | 3968   | 47.7               | 21.8        | 73.4               | 22.1        | 117.8              | 24.1        |
| V    | 16662  | 35.2               | 24.0        | 76.7               | 19.9        | 156.1              | 31.4        |
| V*   | 10015  | 46.8               | 26.5        | 81.3               | 21.1        | 151.2              | 36.7        |
| VI   | 25929  | 62.3               | 33.1        | 95.8               | 30.9        | 157.4              | 37.1        |
| VII  | 10475  | 100.1              | 50.4        | 126.0              | 48.0        | 178.6              | 40.5        |
| VIII | 6082   | 129.8              | 51.8        | 138.0              | 41.4        | 184.6              | 36.2        |

\* GVG gegevens zijn gebaseerd op detailkarteringsinformatie binnen het Waterschap Regge en Dinkel

Bij vergelijking van de tabel op basis van peilbuisgegevens (tabel 7.2) en de tabel op basis van detailkarteringsinformatie (tabel 7.3) valt op dat de buisgegevens veel meer verdroging aangeven. Deze verschillen kunnen oplopen tot tientallen centimeters. De discrepantie tussen de buisgegevens en de detailkarteringsinformatie wordt waarschijnlijk voor het grootste deel veroorzaakt door anisotropie in de ondiepe ondergrond. Het kan hierbij gaan om het voorkomen van storende lagen zoals tertiaire klei, keileem of beekleem, maar ook om gelaagdheid in leemhoudende horizonten in de vorm van leembandjes. De gebruikte peilbuizen zijn buizen met een maximale diepte van 5 meter met een filterlengte van veelal 0,5 of 1,0 meter.

### 7.3 Grondwaterstandswaarnemingen

Met betrekking tot het waarnemen van de grondwaterstand is in de jaren 50 veel onderzoek gedaan. De grondwaterstand kan worden waargenomen in boorgaten of, wanneer de waarnemingen zich over langere tijd uitstrekken, in buizen, die in de boorgaten werden gebracht (Hooghoudt, 1952). De buizen hebben een diameter van enkele centimeters en zijn geheel of gedeeltelijk geperforeerd. De buizen zijn ten minste geperforeerd voor het deel dat zich in het grondwater bevindt, waardoor het water gemakkelijk in de buis kan treden. De buis wordt veelal omwikkeld met een filterkous, om inspoeling van zand en klei te voorkomen. De boorgaten waarin de buizen worden geplaatst hebben gewoonlijk een grotere diameter dan de buis. De ruimte tussen de buiswand en de wand van het boorgat wordt opgevuld met grof zand (Hooghoudt, 1952) of losjes opgevuld met grond (Domhof *et al.*, 1965).

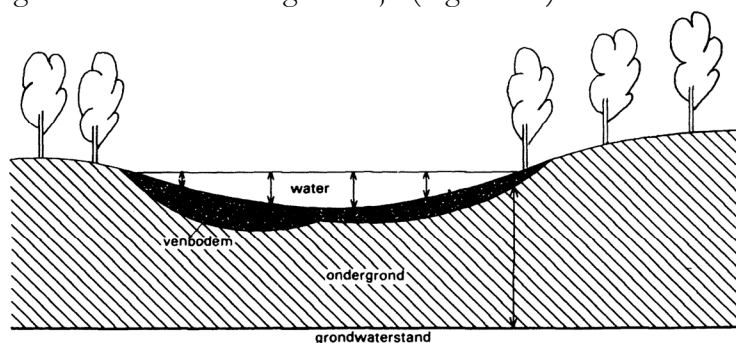
In veel gevallen zal de stand van het water in deze buizen corresponderen met de grondwaterspiegel (Richards, 1954). Dit zal het geval zijn wanneer het grondwater zich in een toestand van statisch evenwicht bevindt of wanneer er in de grond slechts stroming in horizontale richting optreedt. Wanneer er echter, hetgeen vaak het geval is, een verticale stromingscomponent is, kan de stand van het water in de buis afwijken van de grondwaterstand (Domhof *et al.*, 1965). De stand van het water in de buis geeft dan het evenwicht weer tussen instroming en uitstroming in de verzadigde lagen. Vooral indien er grote verschillen in doorlatendheid zijn tussen deze profiellagen kan de waterstand in de buis in aanzienlijke mate verschillen van de werkelijke grondwaterstand. Om in zulke gevallen uitsluitsel te krijgen over de ligging van het freatische vlak, kan van piëzometers of potentiaalbuizen gebruik worden gemaakt (Richards, 1954). Dit zijn ijzeren of plastic buizen die in tegenstelling tot de hiervoor besproken grondwaterstandsbuizen slechts over een kleine afstand aan de onderzijde geperforeerd zijn. Ze worden zodanig in de bodem geplaatst dat de buiswand overal dicht tegen de grond aansluit en er geen lekkage optreedt tussen grond en buiswand. De stand van het water in de buis wordt dan bepaald door de druk van het grondwater ter plaatse van het filter (de potentiaal). Indien er een potentiaalverschil is tussen twee vertikaal onder elkaar gelegen punten zal er een verticale stroming plaats gaan vinden. De stroomsterkte is afhankelijk van het drukverschil, doorlatendheid van de bodem en de afstand tussen twee vertikaal onder elkaar gelegen punten. Het freatische vlak wordt aangegeven door de piëzometer die zo kort is dat er nog net water in komt. In een situatie met statisch evenwicht, of wanneer er uitsluitend horizontale stroming optreedt, zijn er in verticale richting geen verschillen in potentiaal en zijn de standen in alle piëzometers gelijk. (Domhof *et al.*, 1965). In de praktijk wordt momenteel veel gebruik gemaakt van piëzometers in plaats van freatische buizen. De filterlengte is veelal beperkt (0,5 of 1 m) en de buizen worden vaak diep geplaatst om droog staan te voorkomen.

Indien gekeken wordt naar de GHG en GLG hebben we te maken met situaties die gemiddeld genomen in de orde van 20 à 40 dagen per jaar worden overschreden. Hierdoor is de GHG niet direct extreem, maar ligt het moment waarop de grondwaterstand tijdens het bereiken van het GHG niveau zich bevindt in een relatief natte situatie met een neerslagoverschot en derhalve een neergaande flux,

waardoor de afvoer en eventuele wegzijging relatief hoog zijn. In deze situatie hebben we te maken met een verticale neerwaartse flux om de afvoer en wegzijging mogelijk te maken. Indien uitgegaan wordt van de wet van Darcy (formule 7.1) zal hierdoor een potentiaalverschil optreden in verticale richting, met een hoge potentiaal boven in het profiel en een lagere potentiaal onder in het profiel. De mate waarin de potentiaal verschilt zal voor een belangrijk deel afhangen van de doorlatendheid van de bodem in verticale richting. Indien gebruik wordt gemaakt van piëzometers die relatief diep zijn geplaatst zal er in de potentiaalbuis een lagere drukhoogte worden gemeten dan de freatische potentiaal. Het verschil in gemeten potentiaal en de freatische potentiaal is afhankelijk van de afstand tussen het potentiaalvlak waarin gemeten wordt en de freatische potentiaal en de doorlatendheid van de bodem in verticale richting. Indien uitgegaan wordt van een neerslagoverschot van 3 mm/d, een verticale doorlatendheid van 0.05 m/d en een buislengte (afstand) van 3 meter, dan is de c-waarde 60 dagen ( $c = d/k$ ). Het stijghoogteverschil dat hierdoor ontstaat bedraagt 18 cm ( $dh = c \cdot q$ ). Dergelijke c-waarden kunnen ook in het zandgebied voorkomen. Ook in humuspodzolgronden zijn namelijk in het verleden, als gevolg van geringe doorlatendheden boven in het profiel, in de winterperiode verschillen in stijghoogten van enkele tientallen centimeters gemeten in filters op 1, 2 en 4 meter diepte (Knibbe, 1969). De verticale doorlatendheid is weer in hoge mate afhankelijk van eventueel aanwezige anisotropie in de vorm van leembandjes en het voorkomen van storende lagen in het profiel.

$$Q = k_{sat} \frac{dH}{s} \quad (7.1)$$

Indien er sprake is van een schijngrondwaterspiegel als gevolg van een storende laag, met daaronder een deel onverzadigde zone, wordt het effect van de anisotropie nog eens versterkt. Het onverzadigde materiaal onder een storende laag heeft een lagere k-waarde naarmate het materiaal droger is. Hierdoor neemt de c-waarde toe, waardoor het water nog moeilijker naar het grondwater kan percoleren. Het verschil in een stijghoogte in een peilbuis en de freatische grondwaterstand in de vorm van een schijnspiegel kan hierdoor zeer groot zijn (Figuur 7.2).



Figuur 7.2 Dwarsdoorsnede van een ven met een ligging van de bodem in de onverzadigde zone (naar: Bannink et al., 1989)

De GLG heeft duidelijk betrekking op een droge situatie met een verdampingsoverschot en derhalve een opwaartse flux in de onverzadigde zone. Vooral bij natte Gt's met kwel kan dit tot gevolg hebben dat het water dat via

capillaire opstijging verdwijnt weer aangevuld wordt via het grondwater. Als gevolg van deze situatie mag men verwachten dat de diepere potentiaal iets hoger is dan de freatische potentiaal, waardoor toestroming plaats kan vinden. Het potentiaalverschil is in deze situatie tegengesteld aan de situatie rond GHG moment en veelal kleiner dan in de GHG situatie. Bij de veelal hoger gelegen droge Gt's vindt er rond GLG eveneens een capillaire flux plaats. Deze capillaire onttrekking heeft echter niet tot gevolg dat er grondwater wordt aangevoerd om dit verdampingsverlies te compenseren. In een droge situatie met permanente wegzijging heeft de capillaire flux alleen maar tot gevolg dat de grondwaterstand sneller uitzakt. De flux in het grondwater wordt in droge perioden wel veel kleiner, maar blijft naar beneden gericht.

In de tabellen komt tot uiting dat de GLG bij een geringe diepte weinig verschil vertoont. Voor de drogere Gt's komen echter wel verschillen voor die hoofdzakelijk worden veroorzaakt door de maximale boordiepte bij de detailkarteringen. De maximale boordiepte varieert per detailkartering en kan 150, 180, 200 of 320 cm bedragen. Indien de GHG of GLG dieper is dan de maximale boordiepte is voor de GHG of GLG een waarde van 151, 181, 201 of 321 aangehouden (betekent: dieper dan). Hierdoor is in de tabel gebaseerd op de detailkarteringen de GLG bij diepe Gt's onderschat.

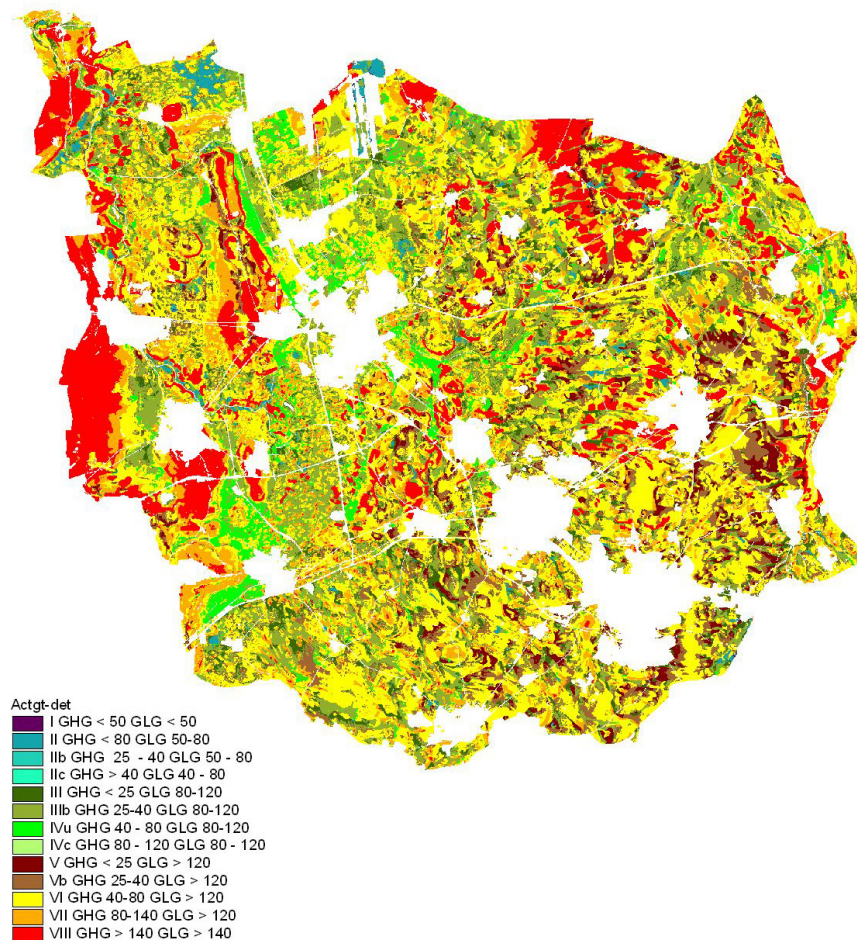
De bovenstaande theoretische verklaring voor het verschil tussen een gemeten potentiaal in een piëzometer en de freatische grondwaterstand wordt echter beïnvloed door regionale stroming en het voorkomen van kwel of wegzijging. Daarnaast is niet bekend in welke gronden en in welke mate anisotropie een rol speelt. Hierdoor is het lastig deze mogelijke verklaring eenduidig vast te stellen. Meer onderzoek naar het meten van de grondwaterstand in relatie tot anisotropie is wenselijk.

Combinatie van tabel 7.3 met de neerschalingsmethodiek zoals eerder beschreven, kan een snelle inschatting van de actuele situatie voor de Gt geven. De berekende spreiding van de GxG is echter zeer groot. Deze grote spreiding wordt veroorzaakt door een grote variatie in de GxG die voor kan komen binnen kaartvlakken. Over het algemeen is er verdroging opgetreden, maar er zijn natuurlijk ook locaties waar door de jaren heen weinig is veranderd of zelfs vernatting heeft plaatsgevonden door bijvoorbeeld een vernattingsproject. Ook maaiveldsvariantie nabij buizen heeft een verhogend effect op de spreiding (Van der Gaast en Massop, 2005a).

Indien tabel 7.2 op basis van een landelijke buizenset en tabel 7.3 op basis van detailkarteringen worden vergeleken met de bodemkaart 1 : 50 000 (tabel 7.1) valt op dat de verdroging op basis van buisinformatie veel groter is dan de verdroging op basis van de detailkarteringen (numerieke verdroging). Alleen de natte Gt's zijn iets droger op basis van de detailkarteringen. Tevens blijkt dat door het gebruik van detailkarteringsinformatie het mogelijk is om Gt  $V/V^*$  als gevolg van schijngrondwaterspiegels beter in beeld te brengen. Daarnaast worden ook de lokale effecten op de GxG als gevolg van ingrepen in de waterhuishouding zoals buisdrainage, waterwinningen enz. meegenomen.

## 7.4 Resultaat voor het waterschapsgebied

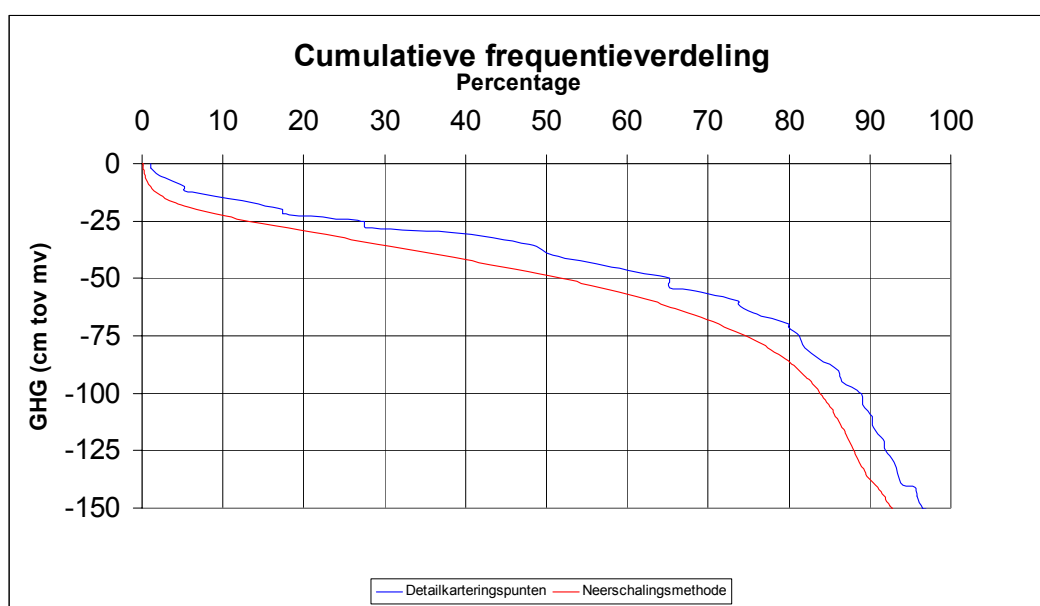
In figuur 7.3 is het resultaat in de vorm van een actuele Gt-kaart weergegeven. In de kaart komt een gedifferentieerd beeld van de Gt naar voren. Het areaal met Gt V is conform de gebruikte tabel iets afgenomen ten opzichte van de bodem en Gt-kaart (schaal 1 : 50 000).



*Figuur 7.3 Gt-kaart gebaseerd op de neerschalingsmethode*

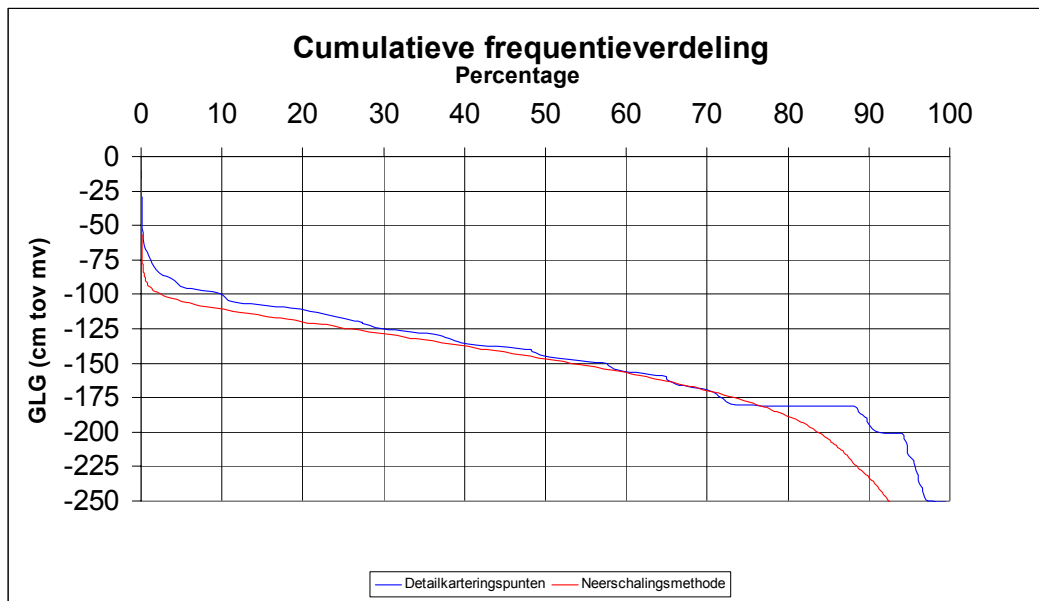
In figuur 7.4 zijn de cumulatieve relatieve frequentieverdelingen weergegeven. De blauwe lijn geeft de verdeling van de gebruikte detailkarteringspunten binnen het waterschap Regge en Dinkel weer. Het enigszins getrapte verloop wordt veroorzaakt doordat bij de kartering de schatting wordt afgerond op 5 cm. De vloeiend verlopende rode lijn geeft het resultaat van de neerschalings methode weer. In vergelijking met de puntgegevens uit de detailkarteringen zijn de gebiedsdekkende kaarten droger. Waarschijnlijk is de GHG gebaseerd op de neerschalingsmethode iets te droog, hetgeen gedeeltelijk kan worden veroorzaakt door het gebruik van een landelijke tabel. Een andere mogelijke verklaring kan voortkomen uit de detailkarteringen die niet gebiedsdekkend beschikbaar zijn. Waarschijnlijk is het merendeel van de digitaal beschikbare detailkarteringen iets natter dan het overige deel van het beheergebied. Detailkarteringen worden, mede door de relatief hoge kosten,

hoofdzakelijk uitgevoerd in gebieden waar het relevant is om de grondwaterstandsfluctuatie goed in beeld te hebben. Dit heeft tot gevolg dat relatief droge gebieden tegenwoordig veelal buiten de detailkarteringen vallen. Hierdoor vormen de detailkarteringen geen representatieve steekproef voor het gehele beheergebied. Een groot aantal van de detailkarteringen liggen in gebieden met keileem en/of tertiaire klei in de ondergrond. Hierdoor kunnen schijngrondwaterspiegels ontstaan, waardoor het aandeel natte gronden reëltief groot is. In figuur 7.4 zijn de relatieve cumulatieve frequentieverdelingen voor de GLG binnen het waterschap weergegeven. De blauwe lijn is wederom de verdeling van de puntgegevens van de detailkarteringen. Ook hier is het enigszins getrapte verloop als gevolg van de afronding op 5 cm zichtbaar. De rode lijn komt grotendeels overeen met de puntgegevens. Alleen in het natte traject en in het droge traject is er een geringe afwijking.



Figuur 7.4 Cumulatieve relatieve frequentieverdeling van de GHG voor detailkarteringspunten binnen waterschap Regge en Dinkel en de verdeling voor de vlakdekkende invulling GHG op basis van de neerschalingmethode





*Figuur 7.5 Cumulatieve relatieve frequentieverdeling van de GLG voor detailkarteringspunten binnen waterschap Regge en Dinkel en de verdeling voor de vlakdekkende invulling GLG op basis van de neerschalingsmethode*

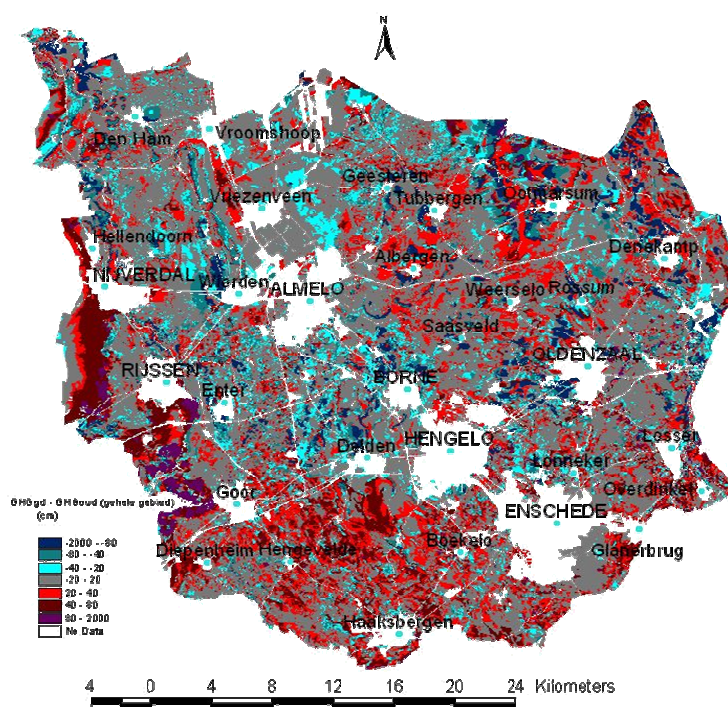
## 8 Validatie

### 8.1 Vergelijk tussen de Gd-kaart en de bodemkaart

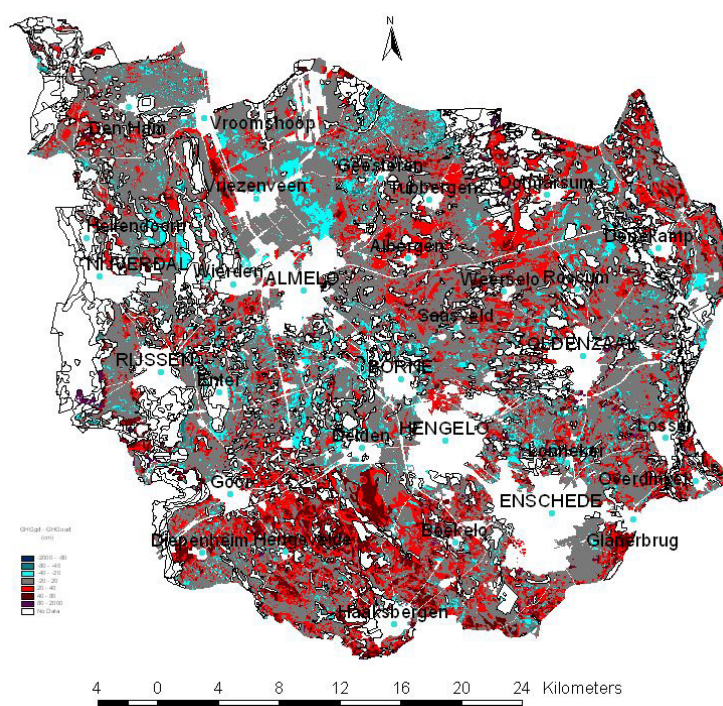
Aanleiding voor de Gd-kartering is een studie naar de actualiteit van de bestaande Gt-kaart op basis van buisgegevens (Hoogland en Visschers, 2000). Binnen deze studie is een verdroging berekend tussen de buislocaties en de Gt-kaart 1 : 50 000. Om meer inzicht in de mate van verdroging te krijgen zijn de oude en de nieuwe kaart van elkaar afgetrokken (figuur 8.1). Opvallend zijn de (donker)blauwe gebieden, die aangeven dat er een extreme vernatting heeft plaatsgevonden (meer dan 80 cm). Deze arealen komen verspreid in het gehele waterschapsgebied voor. Daarnaast valt op dat vernatte gebieden (blauw) direct naast oranje, verdroogde, gebieden voor kunnen komen. Alle blauwe gebieden zijn in vergelijking tot de bodemkaart 1 : 50 000 natter geworden. Indien gekeken wordt naar de vergelijkingsresultaten komt de vraag naar voren of het plausibel is dat het vernatte areaal zo groot kan zijn. Op basis van buisgegevens is in de eerder genoemde studie immers geconstateerd dat er verdroging heeft plaatsgevonden. Uit de vergelijking met het kaartmateriaal blijkt, dat een deel van deze verschillen verklaard kunnen worden, doordat er informatie wordt gebruikt die deels onvolledig is (GHG en/of GLG ontbreekt). Dit geldt met name voor de verschillen (zowel GHG als GLG) tussen Gt VII en VII\* op de Gt-kaart schaal 1 : 50 000 en de informatie op de Gd-kaart. Om toch een objectieve vergelijking tussen beide kaarten mogelijk te maken zijn voor de vergelijking van de GHG de gebieden met Gt VII en VII\* op de oude Gt kaart buiten beschouwing gelaten, omdat deze klassen geheel of deels buiten het boorbereik van de toenmalige karteringen liggen (figuur 8.2). De Gt op de oude Gt-kaart is namelijk geschat op basis van ondermeer profielkenmerken tot een diepte van maximaal 1,20 cm-mv.

Hetzelfde geldt voor de GLG alleen komen daar de gebieden met Gt V, V\* en VI bij. Deze gebieden zijn dan ook niet op de vergelijkingskaarten weergegeven en worden ook niet nader beschouwd. Op de bodem- en Gt-kaart schaal 1 : 50 000 komen verder aanzienlijke arealen voor met samengestelde kaartvlak eenheden. Aangezien de complexiteit van bodem- en/of Gt in deze gebieden te groot is voor een nauwkeurige begrenzing op deze kaartschaal heeft men destijds geen onderscheid gemaakt en derhalve deze gebieden samengevoegd tot zogenaamde kaartvlak associaties. Hierdoor is een objectieve vergelijking tussen de oude Gt-kaart en de Gd-kaart niet mogelijk. Ook deze gebieden zijn niet in de vergelijking meegenomen.

Wanneer de kaart met de verschillen tussen de GHG's uit de Gd-kartering en de Gt-kaart schaal 1 : 50 000 wordt bekeken dan valt op dat er gebieden zijn waar extreme verdroging (paars: meer dan 80 cm) heeft plaats gevonden. Deze arealen komen verspreid in het gehele waterschapsgebied voor. Deze verschillen komen ook voor in de gebieden waar een detailkartering is uitgevoerd. In deze gebieden dient een deel van de oorzaak vooral gezocht te worden in het verschil in kaartschaal (waarnemingsdichtheid).



Figuur 8.1 Verschil in GHG tussen de Gd-kaart en de bodemkaart 1 : 50 000, waarbij de bodemkaart is afgetrokken van de Gd-kaart. Positieve getallen geven aan dat het droger is geworden conform de verwachtingen.



Figuur 8.2 Verschil in GHG tussen de Gd-kaart en de bodemkaart 1 : 50 000, waarbij de bodemkaart is afgetrokken van de Gd-kaart. Positieve getallen geven aan dat het droger is geworden conform de verwachtingen. Gebieden met een diepe GHG Gt VII en VII\* zijn buiten beschouwing gelaten.

De bodemkundige en Gt verschillen zijn op korte afstand dermate groot dat men destijds bij de kartering schaal 1 : 50 000 bepaalde grove landschappelijke keuzes heeft gemaakt. Vooral het gebied rondom Lossen (met name langs de Dinkel) kent een grote landschappelijke verscheidenheid op korte afstand. Hierdoor mist de bodem- en Gt-kaart een zekere mate van detail, waardoor de verschillen met de detailkaart aanzienlijk kunnen zijn. Verder blijkt, dat de verschillen tussen de GHG's uit de detailkarteringen en de GHG's uit de Gt-kaart schaal 1 : 50 000 in het algemeen niet groot zijn (grijze kleur: verschillen tot 20 cm). Ook in de gebieden met storende lagen in het bodemprofiel (bv keileem) zijn de verschillen niet groot. De oorzaak van de lokaal voorkomende grote verschillen in deze gebieden zijn ook hier voor een groot deel toe te schrijven aan het verschil in kaartschaal. Er komen namelijk op de bodem- en Gt-kaart van de detailkarteringen gebieden voor waar bijvoorbeeld de keileem ontbreekt (droge Gt's), terwijl men dit materiaal wel op de bodem- en Gt-kaart schaal 1 : 50 000 (natte Gt's) heeft onderscheiden en vice versa.

In het gebied buiten de detailkarteringen blijkt, dat grote arealen in de nabijheid van de plaatsen Tubbergen, Delden, Ootmarsum en Haaksbergen aanzienlijk zijn verdroogd (meer dan 20 cm). Uit nader onderzoek blijkt, dat in de ondergrond van deze gebieden veelal een grondmorene in de vorm van keileem aanwezig is. Wanneer dit materiaal in het bodemprofiel voorkomt ontstaan er schijnspiegels, waardoor deze gronden voor landbouwkundige doeleinden veelal periodiek te nat zijn. Op de Gt-kaart heeft men aan deze type gronden veelal een Gt V of V\* toegekend. Op de Gd-kaart zijn met name deze gronden te droog geschat, waardoor men de indruk krijgt dat deze arealen behoorlijk zijn verdroogd. Een deel van dit verschil is te verklaren uit het feit, dat de richtingscoëfficiënt van de regressielijn voor het voorspellen van de GHG in een groot deel van dit gebied laag is (b.v. Denekamp), waardoor er een afvlakking plaats vindt (§ 5.7). Uit de praktijk blijkt, dat de GHG in deze gronden weinig is veranderd (zie b.v. verschillen in de gebieden die vergeleken zijn met de detailkarteringen). Factoren die met name een invloed kunnen hebben op een verlaging van de GHG, zoals bijvoorbeeld intensivering van het ontwateringsstelsel en grondwaterwinningen hebben maar een geringe invloed op een verandering van de GHG. Het hydrologische pakket<sup>3</sup> is in dit soort gebieden relatief dun, waardoor het uitstralingseffect van waterhuishoudkundige ingrepen gering is. Daarnaast is de weerstand van het keileempakket veelal groot, waardoor grondwaterwinningen onder dit pakket veelal weinig invloed hebben op de GHG. In deze gebieden is het vooral van belang dat men, het meetmoment van de gerichte opname van de grondwaterstand op een juist tijdstip kiest. Uit onderzoek blijkt, dat een deel van de gerichte opname van de grondwaterstanden in het onderhavige gebied niet op een juist tijdstip is uitgevoerd (bijlage 4). Dit kan grote gevolgen hebben voor de GHG en GLG (onder- of overschatting) schattingen op puntlocaties. Daarnaast dient nog te worden opgemerkt, dat voor het schatten van de GHG en GLG in het Gd project weinig of geen rekening is gehouden met lokale hydrologische omstandigheden (b.v. afvoerproblemen) of anisotropie in het bodemprofiel (bv. het voorkomen van gliedlagen, kazige B-horizonten, leemlagen etc.). Hierdoor kan de Gt in bepaalde situaties in het Gd-project te droog zijn ingeschat. Bij Gt karteringen

---

<sup>3</sup> Hydrologische pakket bestaat uit de geohydrologische pakketten die een rol spelen bij de interactie tussen grondwater en oppervlaktewater, kortom het afvoerproces.

(detailkarteringen of bij de Gt kartering schaal 1 : 50 000) wordt met deze problematiek wel rekening gehouden. De Gt wordt tijdens deze karteringen geschat op basis van profielkenmerken, vegetatie, lokale hydrologische omstandigheden en gemeten grondwaterstanden in boorgaten en grondwaterstandsbuizen.

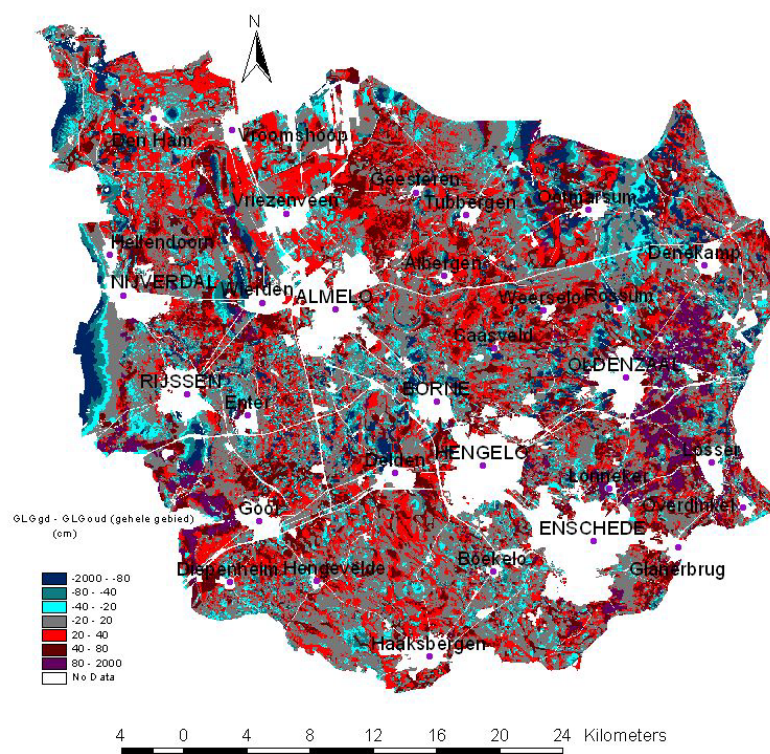
Voorts komen grote verschillen in GHG's voor in de nabijheid van de plaatsen Vriezenveen en Goor en ten oosten van Diepenheim. Dit zijn veelal relatief laag gelegen en natte gebieden (Gt II en III op de bodemkaart schaal 1 : 50 000). Verder komt anisotropie in de bodemprofielen binnen dit gebied in een aanzienlijk deel van het oppervlak voor. Dit is het gevolg van gliedelagen (Vriezenveen) en kleilaagjes (Diepenheim), die veelal aanwezig zijn net onder de bouwvoor. Deze lagen zorgen ervoor, dat er tijdelijk stagnatie optreedt van neerslagwater tijdens natte perioden, waardoor deze gronden voor landbouwkundig gebruik periodiek te nat zijn. Deze gebieden blijken op de Gd-kaart juist behoorlijk te zijn verdroogd (verlaging GHG ca. 20 tot 80 cm). Ook in deze gebieden is de richtingscoëfficiënt van de regressielijn voor het voorspellen van de GHG relatief laag, waardoor er een sterke afvlakking plaatsvindt (§ 5.7). Wanneer het gebied rondom Goor en Diepenheim vergeleken wordt met de detailkarteringen, blijken de verschillen met de Gt-kaart schaal 1 : 50 000 niet groot te zijn. Een mooi voorbeeld hiervan is te zien in de omgeving van Diepenheim. De GHG's in de detailkartering Diepenheim wijken niet veel af van de GHG's op de Gt-kaart schaal 1 : 50 000, terwijl het gebied (ten oosten van Diepenheim) net buiten de detailkartering juist aanzienlijk is verdroogd. Een bodemkundige verklaring is hiervoor niet te geven. Het betreft hier vooral de nattere beekbedgronden al dan niet met een kleidek die volgens de Gd-kaart ten onrechte aanzienlijk zijn verdroogd.

Wanneer de kaart met de verschillen tussen de GLG's uit de Gd kartering en de oude Gt kaart schaal 1 : 50 000 met elkaar vergeleken wordt, blijkt dat het te vergelijken areaal niet groot is. Een groot deel van het gebied had ten tijde van de bodem- en Gt kartering schaal 1 : 50 000 een GLG dieper dan 1,20 cm-mv. Voor vergelijking blijven voornamelijk de lager gelegen gebieden in de beekdalen en dekzandvlakten over. Uit het kaartbeeld blijkt, dat het merendeel van deze gronden aanzienlijk is verdroogd (20-80 cm). Dit geldt ook voor een deel van de gronden die liggen in gebieden waar een detailkartering is uitgevoerd (b.v. het landinrichtingsgebied Rijssen Enter). In deze gebieden dient een deel van de oorzaak gezocht te worden in het verschil in kaartschaal (waarnemingsdichtheid). Niet alle verschillen kunnen hierdoor worden verklaard. In het landinrichtingsgebied Losser is bijvoorbeeld te zien, dat het gebied rondom Overdinkel behoorlijk is verdroogd. Dit zou mogelijk een gevolg kunnen zijn van de stedelijke uitbreiding van Overdinkel en Losser vanaf het eind van de jaren zeventig uit de vorige eeuw.

In het gebied buiten de detailkarteringen blijkt, dat een deel van het verschil is te verklaren uit het feit, dat de richtingscoëfficiënt van de regressielijn voor het voorspellen van de GLG in een groot deel van dit gebied laag is (b.v. ten oosten van Diepenheim), waardoor er een afvlakking plaatsvindt (§ 5.7). Verder geldt ook hier dat het meetmoment voor de gerichte opname van de grondwaterstand in een deel van het gebied niet op een ideaal tijdstip is uitgevoerd, waardoor de GLG's in de puntwaarnemingen zijn over- of onderschat (§ 4.4). Wanneer de GLG's in de

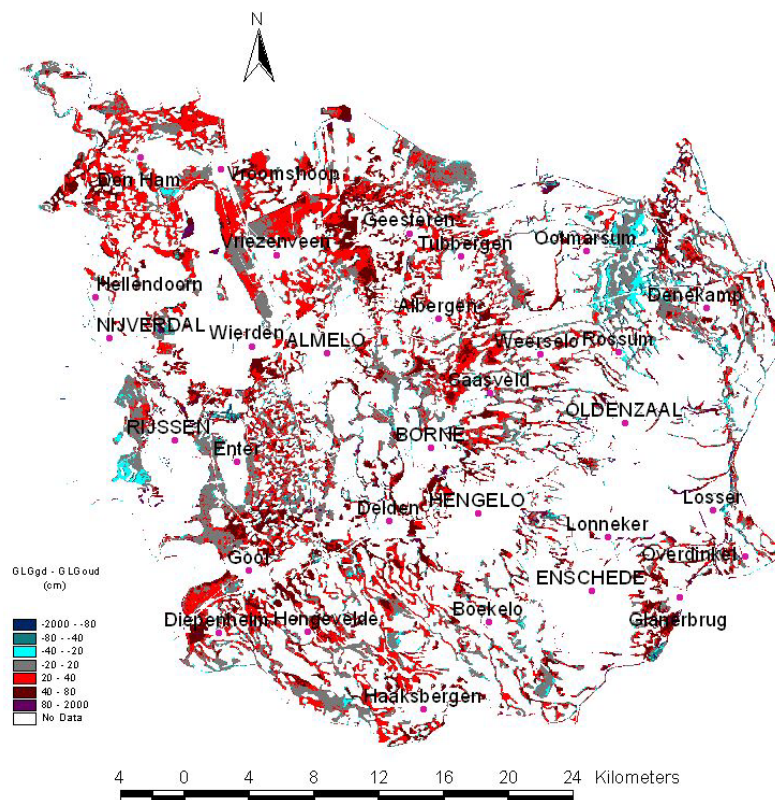


detailkarteringsgebieden vergeleken worden met de GLG's op de Gt-kaart schaal 1 : 50 000, dan blijkt dat deze gebieden qua oppervlakte minder zijn verdroogd, dan de gebieden die grenzen aan de detailkarteringen. Een mooi voorbeeld hiervan is te zien in de omgeving van Diepenheim, Saasveld en Enter. Het gebied binnen deze detailkarteringen is in omvang veel minder verdroogd, dan het areaal dat net buiten de detailkarteringen ligt, maar wel direct grenst aan deze karteringsgebieden. Gezien de ligging en aard van de gronden en het tijdstip waarop de detailkarteringen zijn uitgevoerd (vooral jaren 90 vorige eeuw) is dit niet plausibel. Hierdoor wordt een deel van het gebied dat net buiten de detailkarteringsgebieden ligt ten onrechte aangemerkt als zijnde verdroogd.

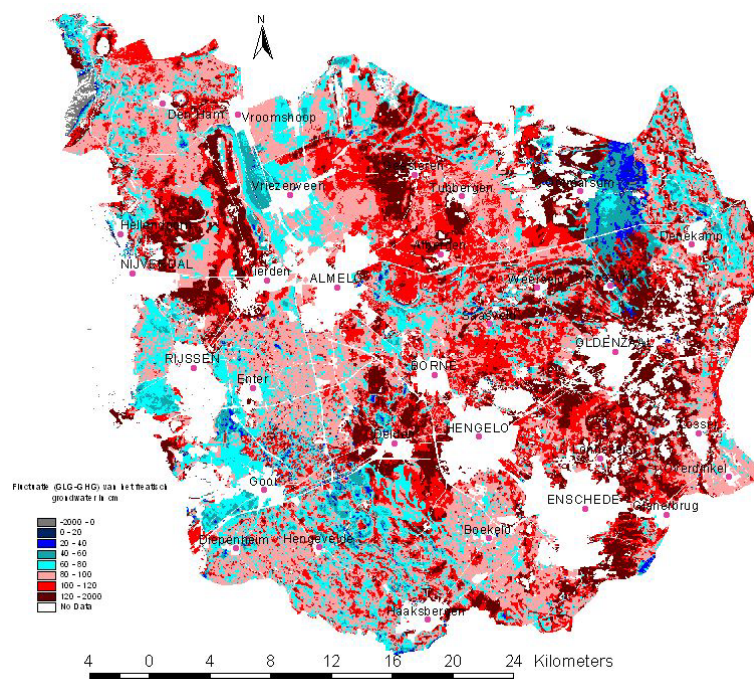


*Figuur 8.3 Verschil in GLG tussen de Gd-kaart en de bodemkaart 1 : 50 000, waarbij de bodemkaart is afgetrokken van de Gd-kaart. Positieve getallen geven aan dat het droger is geworden conform de verwachtingen.*

In figuur 8.5 is de fluctuatie (GLG-GHG) van de freatische grondwaterstand weergegeven. Een deel van het onderzoeksgebied kan niet worden weergegeven, omdat de GLG buiten het boorbereik van de karteringen (zowel Gd als detailkarteringen) ligt. Uit praktische overwegingen is vervolgens besloten om in het onderzoeksgebied alleen de locaties te beschouwen, waar een GLG is geschat  $\leq 2,50$  m-mv. Uit de analyse van de kaart blijkt, dat er gebieden voorkomen met fluctuaties kleiner dan 40 cm (ten oosten van Ootmarsum en ten westen van Boekelo). Deze fluctuaties komen in de praktijk alleen voor in gebieden met aanzienlijke kwel (Enter), permanente stagnatie (veengebieden, zoals het Ambtsven ten zuiden van Glanerbrug) of in gebieden met een sterk gereguleerde waterbeheersing in combinatie met een zeer goed doorlatende ondergrond (lokaal). In de buurt van Ootmarsum en Diepenheim is hiervan geen sprake.



Figuur 8.4 Verskil in GLG tussen de Gd-kaart en de bodemkaart 1 : 50 000, waarbij de bodemkaart is afgetrokken van de Gd-kaart. Positieve getallen geven aan dat het droger is geworden conform de verwachtingen. Gebieden met een diepe GLG Gt V, V\*, VI, VII en VII\* zijn buiten beschouwing gelaten.



Figuur 8.5 Fluctuatie (GLG-GHG) Gebieden met een diepe grondwaterstanden  $\geq 2,5$  m zijn buiten beschouwing gelaten.

De gronden met deze geringe fluctuaties komen juist vooral voor op de relatief hoog gelegen dekzandruggen. De bodemprofielen (tot 1,20 m -mv.) bestaan meestal uit enkeerdgronden in lemig minder goed doorlatend dekzand. Hierdoor zijn deze geringe fluctuaties onder natuurlijke omstandigheden niet mogelijk. De oorzaak van deze geringe fluctuaties is mogelijk een gevolg van de rekentechnieken die zijn toegepast. Uit de beschouwing van de GHG's en GLG's uit het Gd-project met de oude Gt-kaart is al geconcludeerd, dat er met name in deze gebieden sprake is van een afvlakking van de GHG en/of GLG. Hierdoor kan de fluctuatie aanzienlijk worden beperkt. Dit is in een aantal gebieden ook geconstateerd. Er zijn in een aantal strata modelkeuzes gemaakt voor het voorspellen van de GHG en GLG waarvan de richtingscoëfficiënt van de voorspelformule voor de GHG hoog is terwijl die van de GLG laag is. Hierdoor treden er ten onrechte fluctuatiever verschillen op die in deze situaties alleen door de berekeningswijze wordt veroorzaakt. Verder is ook geconstateerd, dat bij de keuze van de modellen voor het voorspellen van de GHG en de GLG, modellen zijn geselecteerd met verschillende parameters, waardoor het kan voorkomen dat de relatie tegengesteld werkt. Een gevolg hiervan is, dat er zelfs negatieve fluctuaties voor kunnen komen. Dit is vooral het geval voor het gebied rondom Ootmarsum. Verder zijn stratumgrenzen in de kaart goed zichtbaar in de vorm van overgangen in fluctuaties die in de praktijk onmogelijk voor kunnen komen. Een mooi voorbeeld is te zien bij Den Ham en ten westen van Ootmarsum. Voor de verklaring wordt verwezen naar hoofdstuk 5. Ook in detailkarteringen komen gebieden voor met zeer geringe fluctuaties van het grondwater (b.v. in de omgeving van Losser). Uit nadere analyse van de bodemkundige/hydrologische informatie uit deze karteringen blijkt, dat voor de schatting van GLG op enkele puntlocaties (abusievelijk) geen code 251 is gebruikt voor een schatting die dieper ligt dan de boordiepte. De code 251 geeft aan dat de schatting van de GLG op dat punt dieper ligt dan 250 cm-mv. Hierdoor is de fluctuatiegrootte van het grondwater op enkele locaties in de detailkarteringsgebieden onderschat.

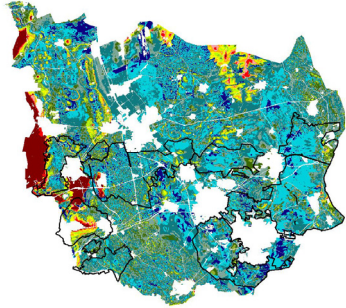
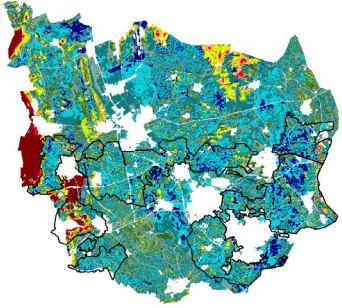
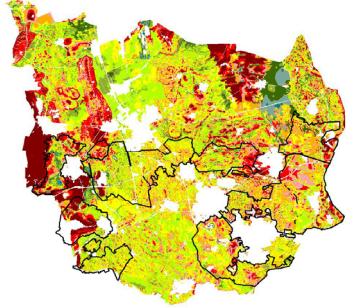
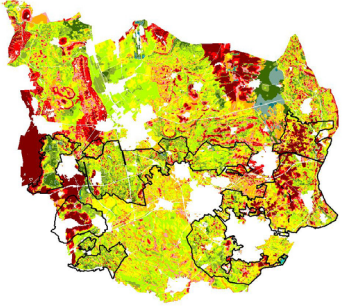
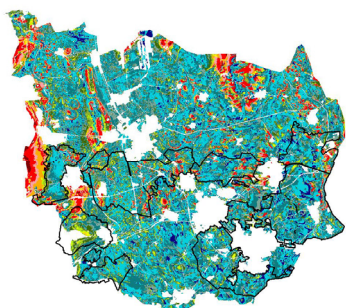
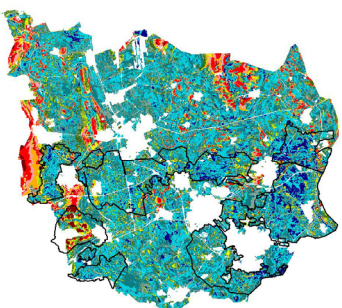
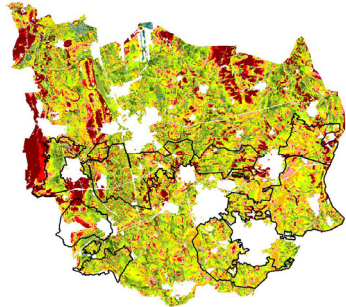
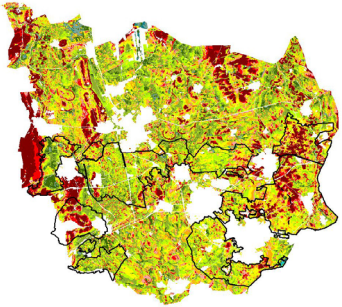
Ook blijken de fluctuaties aanzienlijk te verschillen in de gebieden die grenzen aan de detailkarteringsgebieden (figuur 8.6). Voorbeelden zijn de gebieden ten zuiden van Denekamp, ten noorden en noordwesten van Saasveld en het gebied rond Diepenheim. Een aantal van deze verschillen kan worden verklaard door afvlakking. Daarnaast speelt ook de anisotropie in de ondergrond een belangrijke rol (Diepenheim). De fluctuaties in de Gd-kaart, waarbij nauwelijks of geen rekening is gehouden met de gevolgen van anisotropie in de ondergrond, kunnen hierdoor aanzienlijk worden beperkt. Er zijn ook gebieden waar op basis van de bodemgesteldheid de fluctuatie aan de hoge kant is. Dit is met name het geval in het gebied ten westen van Tubbergen. Er komen hier fluctuaties voor die op basis van de bodemgesteldheid onder normale omstandigheden niet mogelijk zijn (donkerrood op de kaart: > 1,20m). Het betreft hier vooral de open doorgewerkte bodemprofielen die zijn ontstaan in redelijk tot goed doorlatend verspoeld dekzand. Normaliter is de fluctuatie van de freatische grondwaterstand in deze gebieden niet groter dan 1 meter. Een deel van dit probleem is te wijten aan afvlakking, maar in sommige gebieden is de fluctuatie dermate groot, dat dit niet alleen door afvlakking kan worden verklaard. Een mogelijke andere verklaring van een te hoge fluctuatie zijn de diverse stratumovergangen, die in dit gebied voorkomen (hoofdstuk 5). Ten zuiden



van Enter komt een gebied voor met grote verschillen (tot een meter) in fluctuatie op zeer korte afstand. Op basis van de informatie uit de bodem/Gt-kaart schaal 1 : 50 000 en de informatie van de bodemgesteldheid uit de resultaten van het aangrenzende detailkarteringsgebied Enter Rijssen is hiervoor geen plausible verklaring te geven. In het detailkarteringsgebied vertonen de gronden namelijk een vrij rustig fluctuatieverloop van ca. 60 à 70 cm in de lager gelegen gebieden (beekdalen) tot ca. 1 meter in de dekzandruggen. De bodemprofielen zijn in het algemeen open en redelijk tot goed doorlatend. Ook op de bodemkaart schaal 1 : 50 000 komen geen afwijkende bodemprofielen voor die hiervoor een verklaring zouden kunnen geven. Geomorfologisch zijn er ook geen aanwijzingen, dat er landschappelijk grote verschillen (door het al dan niet voorkomen van bv. keileem) voorkomen die deze grote verschillen in het fluctuatieverloop op korte afstand zouden kunnen verklaren. Het landschap in dit gebied bestaat namelijk uit de relatief hoger gelegen dekzandruggen met oude cultuurgronden (enkeerdgronden, laarpodzolgronden etc.) en de lager gelegen beekdalen (beekeerdgronden al dan niet met een kleidek). Daarnaast komen er vlaktes voor met verspoelde dekzanden (beekeerdgronden of gooreerdgronden). De oorzaak van deze verschillen op korte afstand dient ook hier gezocht te worden in een combinatie van factoren. In figuur 5.6 valt op dat de richtingscoëfficiënt van de regressielijn voor het voorspellen van de GLG laag is, waardoor er een grote afvlakking plaatsvindt. Daarentegen is de richtingscoëfficiënt van de regressielijn voor het voorspellen van de GHG juist hoog. Als gevolg hiervan wordt een belangrijk deel van de variatie in de fluctuatie bepaald door de GHG. In de parameters van de regressielijn speelt met name de voormalige GHG in combinatie met de maaiveldhoogte en de relatieve maaiveldhoogte een belangrijke rol. Deze parameters komen niet voor in de voorspelformule van de GLG, die voornamelijk bepaald wordt door de greppelafstand (grepd12). Dit houdt dus in dat de verschillen in fluctuatie van het freatisch grondwater op korte afstand vooral worden bepaald door het verschil in de hoogte van het maaiveld (zowel relatief als absoluut) en de oude GHG. Aangezien de GHG op korte afstand behoorlijk wisselt (maaiveldhoogte, landschap) en de GLG sterk is afgevlakt (weinig variatie) ontstaan er ten onrechte fluctuatieverschillen waarvan de oorzaak het gevolg is van een methode die te sterk is gericht op de statistiek en in bepaalde situaties te weinig rekening houdt met de fysisch geografische aspecten van het landschap.

Ook in figuur 8.6 komen de abrupte patroonverschillen in de Gd-kaart ten opzichte van detailkarteringen tot uiting. Indien gebruik gemaakt wordt van de eenvoudige neergeschaalde actuele Gt-informatie komen patroonverschillen veel minder voor. Uit een vergelijking met de detailkarteringen volgt verder dat de Gt patronen vooral in de omgeving van Diepenheim, Goor, ten noorden van Borne en Rijssen in hoofdlijnen redelijk tot goed overeenkomen met de Gt patronen op de detailkaarten. In het oostelijk deel van het waterschap wijken de patronen ook op hoofdlijnen enigszins af van de detailkaarten. In deze gebieden is de Gt die met behulp van de neerschalingmethode is vastgesteld in het algemeen te droog ingeschat. Dit heeft vooral te maken met het feit, dat er in deze gebieden meer gronden met schijnspiegels (als gevolg van b.v. kleilemlagen) voorkomen. De patronen in de grotere beekdalen, zoals die in het dal van de Dinkel, komen echter wel redelijk overeen met de patronen op de detailkaarten. De Gt's die zijn geschat in de kleinere

beekdalen zijn in het algemeen iets te droog ingeschat ten opzichte van de patronen op de detailkaarten. Ook zijn er minder patronen waar te nemen. Dit laatste is mede een gevolg van het gebruik van een andere kaartschaal.

|                                                                                                                                                              |                                                                                                                                           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Gd</p>  <p>Gd-GHG</p>                                                    |  <p>Detail-GHG over de Gd-GHG</p>                       |
|  <p>Gd-GLG</p>                                                             |  <p>Detail-GHG over de Gd-GLG</p>                      |
| <p>Eenvoudige actuele neerschaling</p>  <p>Actuele neergeschaalde GHG</p> |  <p>Detail-GHG over de Actuele neergeschaalde GHG</p> |
|  <p>Actuele neergeschaalde GLG</p>                                        |  <p>Detail-GLG over de Actuele neergeschaalde GLG</p> |

*Figuur 8.6 Vergelijking van de GHG en GLG volgens de Gd-methode en de eenvoudige neerschalingmethode met detailkarteringen.*

## 8.2 Validatie op basis van peilbuisgegevens

In eerste instantie is er een validatie op basis van peilbuisgegevens uitgevoerd. Gedurende het onderzoek bleek dat het waterschap de beschikking had over 42 buizen die niet waren meegenomen bij zowel de Gd-kartering als de modellering. Na controle van de gegevens bleek toch een aantal buizen te zijn meegenomen bij de Gd-kartering. Uiteindelijk konden voor de validatie 34 onafhankelijke buizen worden gebruikt. In tabel 8.1 zijn de resultaten van de analyse weergegeven. Bij de analyse is gekeken naar het aantal klassen verschil tussen de peilbuisinformatie en Gt-informatie uit kaarten. Het gaat hierbij om de Gd-kaart (Gd), de neergeschaalde actuele Gt-kaart op basis van de eenvoudige neerschalingmethode (Neer) en de Gt-kaart die bepaald is op basis van modelberekeningen met Modflow (NITG-TNO, 2004).

Uit de resultaten blijkt dat de verschillen tussen de kaarten relatief gering zijn. De Gd-kaart lijkt net iets beter dan de andere twee Gt-kaarten. De verschillen zijn echter te klein en niet onderzocht op significantie om duidelijke uitspraken te kunnen doen. Het meest opvallende is dat bij de GLG de peilbuisinformatie redelijk goed overeenkomt met de informatie uit de kaarten, terwijl bij de GHG ruim eenderde van de buizen een verschil van 1 of meer Gt-klassen heeft met de drie kaarten. Een mogelijke verklaring hiervoor is de discrepantie tussen de GHG op basis van buisinformatie en op basis van de bodemkundige situatie zoals beschreven in hoofdstuk 7.

*Tabel 8.1 Validatieresultaat op basis van onafhankelijke buisgegevens in het beheergebied van waterschap Regge en Dinkel.*

| Verschil in<br>aantal Gt<br>klassen | Klasse verschil GHG |      |       | Klasse verschil GLG |      |       | Klasse verschil GT |      |       |
|-------------------------------------|---------------------|------|-------|---------------------|------|-------|--------------------|------|-------|
|                                     | Gd                  | Neer | Model | Gd                  | Neer | Model | Gd                 | Neer | Model |
| 0                                   | 21                  | 20   | 20    | 30                  | 28   | 28    | 21                 | 19   | 19    |
| 1                                   | 9                   | 9    | 10    | 4                   | 5    | 6     | 8                  | 10   | 8     |
| 2                                   | 2                   | 3    | 3     | 0                   | 0    | 0     | 2                  | 3    | 5     |
| >2                                  | 2                   | 1    | 1     | 0                   | 0    | 0     | 3                  | 2    | 2     |
| Totaal                              | 34                  | 33   | 34    | 34                  | 33   | 34    | 34                 | 34   | 34    |

## 8.3 Validatie voor drinkwaterkartering Hengelo-Hasselo

Er is een validatie voor verschillende kaarten van de Gt-uitgevoerd voor het drinkwaterwingebied Hengelo-Hasselo. Hierbij is gebruik gemaakt van de detailkartering uit 1989 die gemaakt is om eventuele veranderingen in gewasopbrengsten als gevolg van de drinkwaterwinning vast te kunnen stellen (Stoffelsen, 1989).

Bij detailkarteringen in waterwingebieden worden normaliter de GHG en GLG geschat door middel van boringen tot een diepte van maximaal 3,20 m-mv. De schatting van de GHG en GLG in deze karteringen vindt plaats op basis van profielkenmerken, lokale hydrologische omstandigheden (b.v. drainage), vegetatie en gemeten grondwaterstanden in alle boorgaten en in een groot aantal representatieve grondwaterstandsbuizen. In het onderhavige gebied is dit ook gebeurd. Dit betekent

ook dat er locaties zijn waar dieper is geboord en geschat dan de maximale boordiepte die is toegepast in de Gd-kartering (max. 2,50 m-mv). Om een objectieve vergelijking tussen de gebruikte methoden mogelijk te maken zijn voor de validatie alleen de locatiepunten te gebruiken waar een GLG is geschat van  $\leq 2,50$  m-mv.

De validatie is uitgevoerd voor de volgende drie Gt-kaarten:

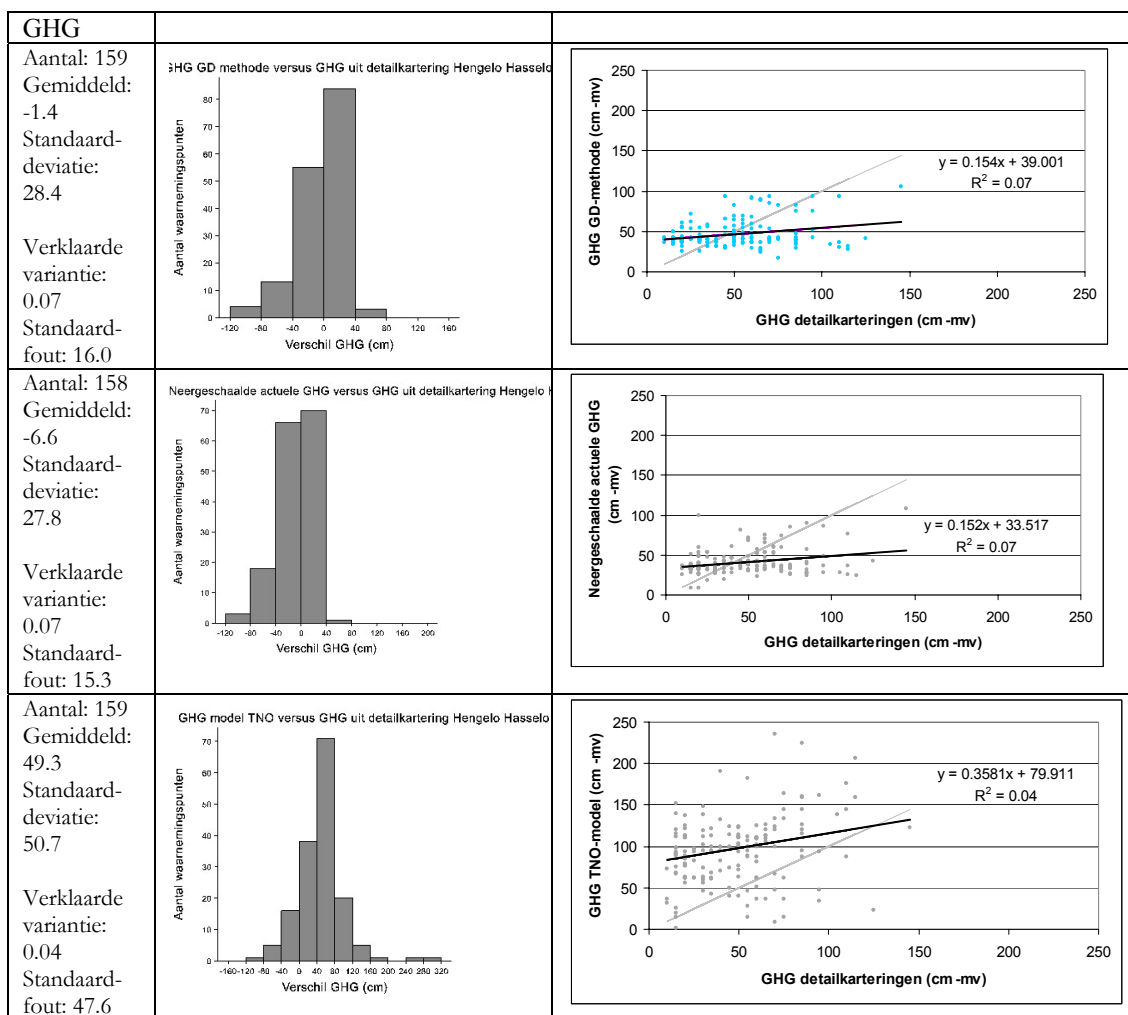
- Gd-kaart conform de beschreven Gd-methode (25 x 25 m);
- Neergeschaalde actuele Gt-kaart, waarbij gebruik is gemaakt van een verschuivingstabel (25 x 25 m);
- Gt-kaart op basis van een Modflow model die ontwikkeld is door NITG-TNO (100 x 100 m) (NITG-TNO, 2004).

In figuur 8.6 en 8.7 zijn de validatie-resultaten voor respectievelijk de GHG en de GLG kort samengevat. In de figuur zijn het aantal detailkarteringspunten, het gemiddelde verschil en de standaarddeviatie opgenomen. Bij de vergelijking is de GHG en de GLG waarde van de detailkarteringspunten telkens afgetrokken van de waarde in de kaart. Uit de analyse blijkt dat het gemiddelde verschil voor alle vergelijkingen significant is. Naast de bepaling van het gemiddelde verschil is gekeken naar de relatie tussen de GHG en GLG voor de detailkarteringspunten en de drie eerder genoemde kaarten. Op basis van de regressierelatie tussen de detailkaartinformatie en de Gt-kaarten is de verklaarde variantie alsmede de standaardfout weergegeven.

Uit de vergelijking blijkt dat de GHG in de neergeschaalde actuele Gt-kaart en de Gd-kaart gemiddeld iets te nat is. De waarden zijn echter zeer gering en bedragen respectievelijk -6.6 en -1.4 cm. Indien gekeken wordt naar de regressierelatie tussen de kaart en de detailkarteringspunten komt de geringe verklaarde variantie tot uiting. Kennelijk is het voor een drinkwaterwinningsgebied met o.a. keileem in de ondergrond niet mogelijk om de GHG te bepalen. De bodemkundige eigenschappen zijn naast de invloed van de winning voor een groot deel bepalend voor het niveau en patroon van de GHG, hetgeen niet tot uiting komt in de kaarten. Ook de kaart op basis van het Modflow model heeft maar een beperkte relatie met de bodem, waardoor het gemiddelde verschil voor de GHG zeer groot is nl. 49 cm droger. Voor alle kaarten geldt dat de verklaarde variantie laag is en het patroon van de GHG moeilijk is te bepalen. Dit komt vooral tot uiting in de lage richtingscoëfficiënt van de regressielijn.

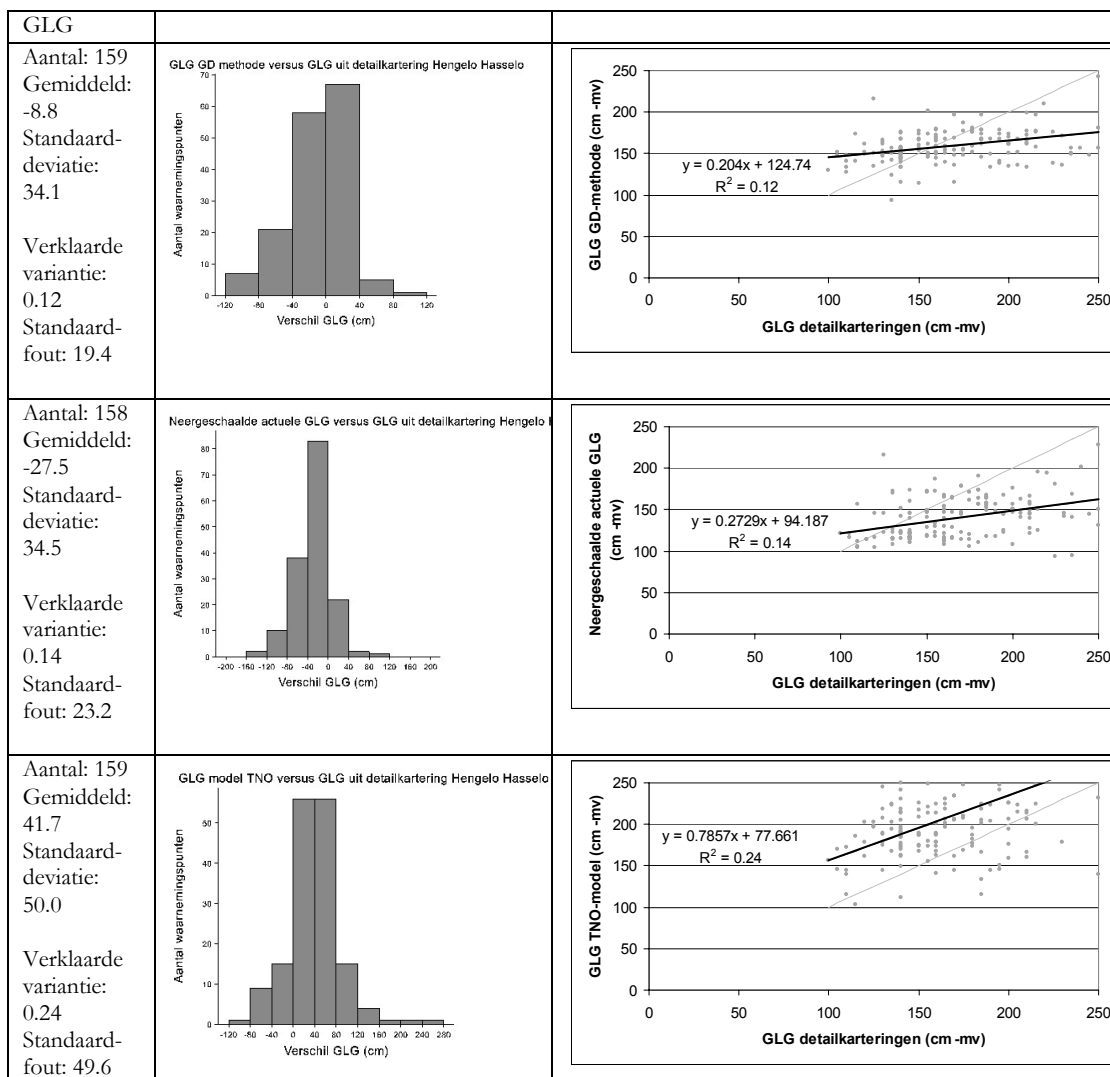
Bij de GLG is te zien dat het gemiddelde verschil bij de neergeschaalde actuele GLG en de Gd-kaart natter is. Dit verschil kan worden verklaard doordat de winning in beide kaarten niet expliciet is meegenomen. De Modflow resultaten geven echter een veel te droog beeld van de GLG, hetgeen wellicht wordt veroorzaakt door een te groot effect van de winning die in het model wel expliciet is meegenomen. Voor de GLG is de relatie tussen de detailkarteringsinformatie en de modelinformatie uit Modflow redelijk aanwezig, hetgeen zich uit in de regressielijn die nagenoeg parallel aan de 1 op 1 lijn loopt. Er is alleen sprake van een systematische overschatting van de verdroging als gevolg van de winning, hetgeen tot uiting komt in de afstand tussen de regressielijn en de 1 op 1 lijn. Deze overschatting van het effect van de winning

wordt waarschijnlijk veroorzaakt door de c-waarde van het relatief dikke keilempakket die wellicht te laag is ingeschat.



Figuur 8.6 Validatieresultaten voor de GHG voor het drinkwaterwingebied Hengelo-Hasselo.

De validatie is uitgevoerd voor een relatief kleine winning (Hengelo-Hasselo). De validatie resultaten hoeven mede hierdoor niet te gelden voor de overige drinkwaterwinningen. Er kan echter wel worden geconcludeerd dat vooral de GHG in hoge mate bepaald wordt door het wel of niet voorkomen van relatief slecht doorlatende lagen. Hierdoor is de verbreiding van dergelijke lagen, welke veelal moeilijk te modelleren zijn, ook in winningsgebieden van groot belang.



Figuur 8.7 Validatieresultaten voor de GLG voor het drinkwaterwingsgebied Hengelo-Hasselo.

## 8.4 Detailkarteringen

Naast de validatie voor een drinkwaterwingsgebied is een validatie met behulp van de digitaal beschikbare detailkarteringen voor verschillende kaarten van de Gt-uitgevoerd. Hierbij is gebruik gemaakt van de detailkarteringen die vermeld zijn in hoofdstuk 6. Om een objectieve vergelijking tussen de gebruikte methoden mogelijk te maken zijn, vanwege het feit dat de karteringsdiepte van de Gd-methode is begrensd tot een diepte van 250 cm-mv, ook hier voor de validatie alleen de detailkarteringspunten gebruikt waar een GLG is geschat van  $\leq 2,50$  m-mv.

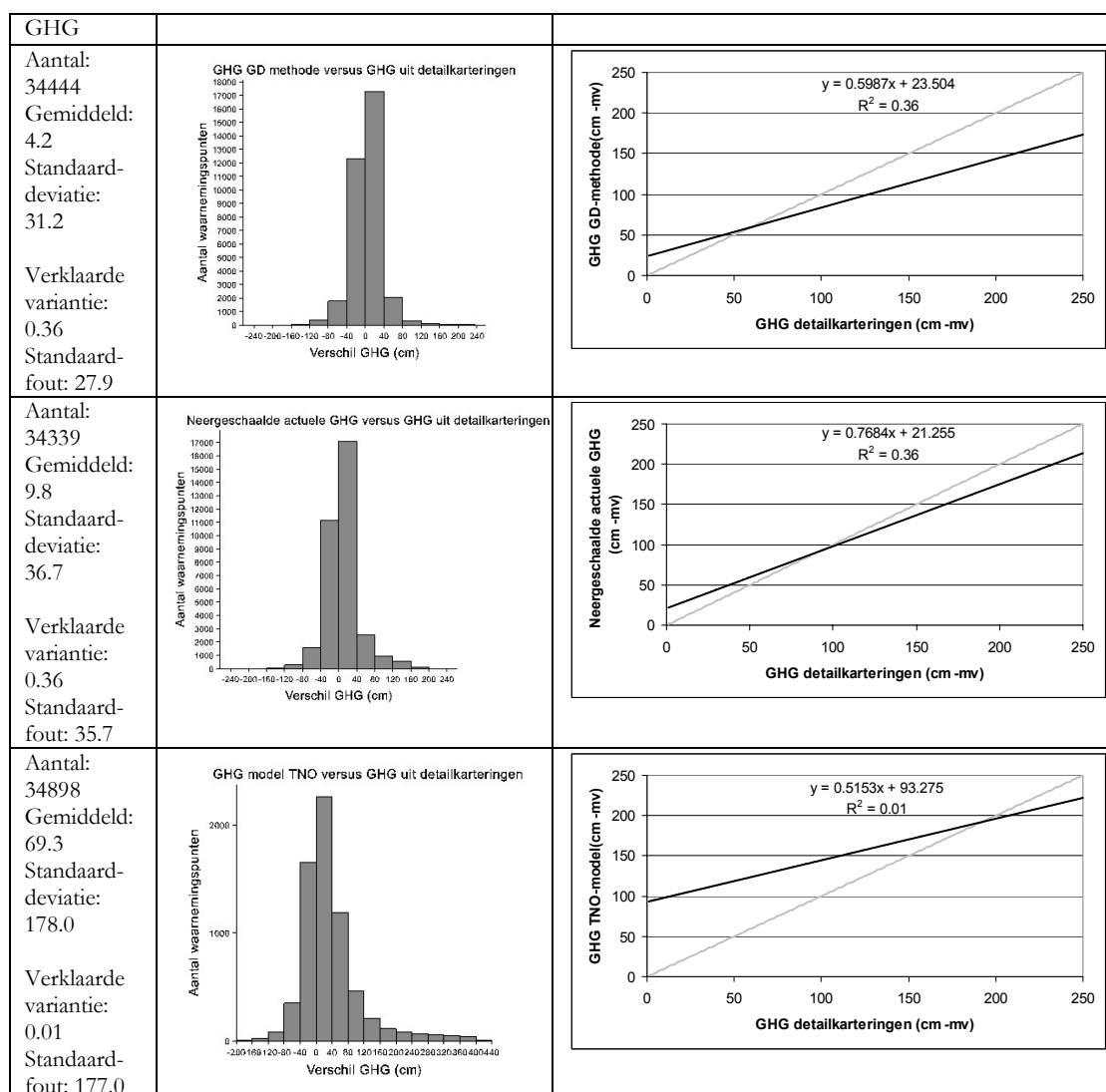
De validatie is wederom uitgevoerd voor dezelfde drie Gt-kaarten:

- Gd-kaart conform de beschreven Gd-methode;
- Neergeschaalde actuele Gt-kaart, waarbij gebruik is gemaakt van een verschuivingstabel;
- Gt-kaart op basis van een Modflow model die ontwikkeld is door NITG-TNO.

In figuur 8.9 en 8.10 zijn de validatieresultaten voor respectievelijk de GHG en de GLG kort samengevat. In de figuur zijn het aantal detailkarteringspunten, het gemiddelde verschil en de standaarddeviatie opgenomen. Bij de vergelijking is de GHG en GLG waarde van de detailkarteringspunten telkens afgetrokken van de waarde in de kaart. Uit de analyse is gebleken dat het gemiddelde verschil voor alle vergelijkingen significant is. Naast de bepaling van het gemiddelde verschil is gekeken naar de relatie tussen de GHG en GLG voor de detailkarteringspunten en de drie eerder genoemde kaarten. In de figuur die de relatie weergeeft zijn de afzonderlijke puntgegevens niet weergegeven. Bij deze validatie bestaat de puntenwolk uit ongeveer 30000 punten, waardoor geen structuur meer te zien is. Op basis van de regressierelatie tussen de detailkaartinformatie en de Gt-kaarten is wederom de verklaarde variantie alsmede de standaardfout weergegeven.

Uit de vergelijking blijkt dat de GHG in de neergeschaalde actuele Gt-kaart en de Gd-kaart in tegenstelling tot de vergelijking voor de drinkwaterwinningskartering gemiddeld iets droger is. De gemiddelde waarden bedragen respectievelijk 9,8 en 4,2 cm. Indien gekeken wordt naar de regressierelatie tussen de kaart en de detailkarteringspunten komt een iets betere verklaarde variantie tot uiting. Het gemiddelde verschil tussen de modelresultaten en de detailkarteringen is echter zeer groot en bedraagt 69,3 cm. Indien gekeken wordt naar de ruimtelijke verdeling van de verschillen komt tot uiting dat de verschillen vooral groot zijn in gebieden met keileem en tertiaire klei in de ondergrond. Hierdoor kan een groot deel van het getalsmatige grote verschil worden verklaard. In de andere gebieden komen echter ook grote verschillen voor die voornamelijk locatiespecifiek zijn. Dit uit zich in clusters van punten in de kaart met een grote afwijkende waarde. Indien naar de regressierelatie gekeken wordt voor de vergelijking met het Modflow model komt de zeer lage verklaarde variantie tot uiting. Kennelijk is het voor het Modflow model zeer moeilijk het patroon van de GHG goed te bepalen, hetgeen voor een groot gedeelte bepaald wordt door het voorkomen van o.a. keileem in de ondergrond. De richtingscoëfficiënt is voor de neergeschaalde actuele GHG het grootst. Kennelijk is met deze relatief eenvoudige methode het GHG patroon het beste te voorspellen en vindt de minste afvlakking plaats. Dat men met deze methode het GHG patroon redelijk kan voorspellen is mede te wijten aan het feit dat men gebruik maakt van de Gt patronen op de oude Gt-kaart schaal 1 : 50 000, waardoor effecten van de destijds vastgestelde bodemkundige invloeden (b.v. storende lagen in het bodemprofiel) op de GHG en/of GLG impliciet worden meegenomen in de neergeschaalde actuele GHG en GLG kaart. Er dient nog wel te worden opgemerkt dat de bodemgesteldheid in de loop van de decennia op diversen plaatsen behoorlijk is gewijzigd. Er zijn namelijk in landinrichtingsgebieden grootschalige kavelverbeteringswerken uitgevoerd, waarbij grondverbetering is toegepast door bijvoorbeeld storende lagen te doorbreken. Daarnaast kunnen bijvoorbeeld grote arealen veengronden zijn verdwenen (Vriezenveen), als gevolg van ingrepen in de waterhuishouding al dan niet in combinatie met grondverbeteringswerkzaamheden (Rutten en Zegers, 1968). Hierdoor kunnen de destijds vastgestelde Gt-patronen als gevolg van deze ingrepen behoorlijk zijn gewijzigd. Voorts kan nog worden opgemerkt dat de Gd afvlakking duidelijk iets groter is, hetgeen wellicht gedeeltelijk kan worden

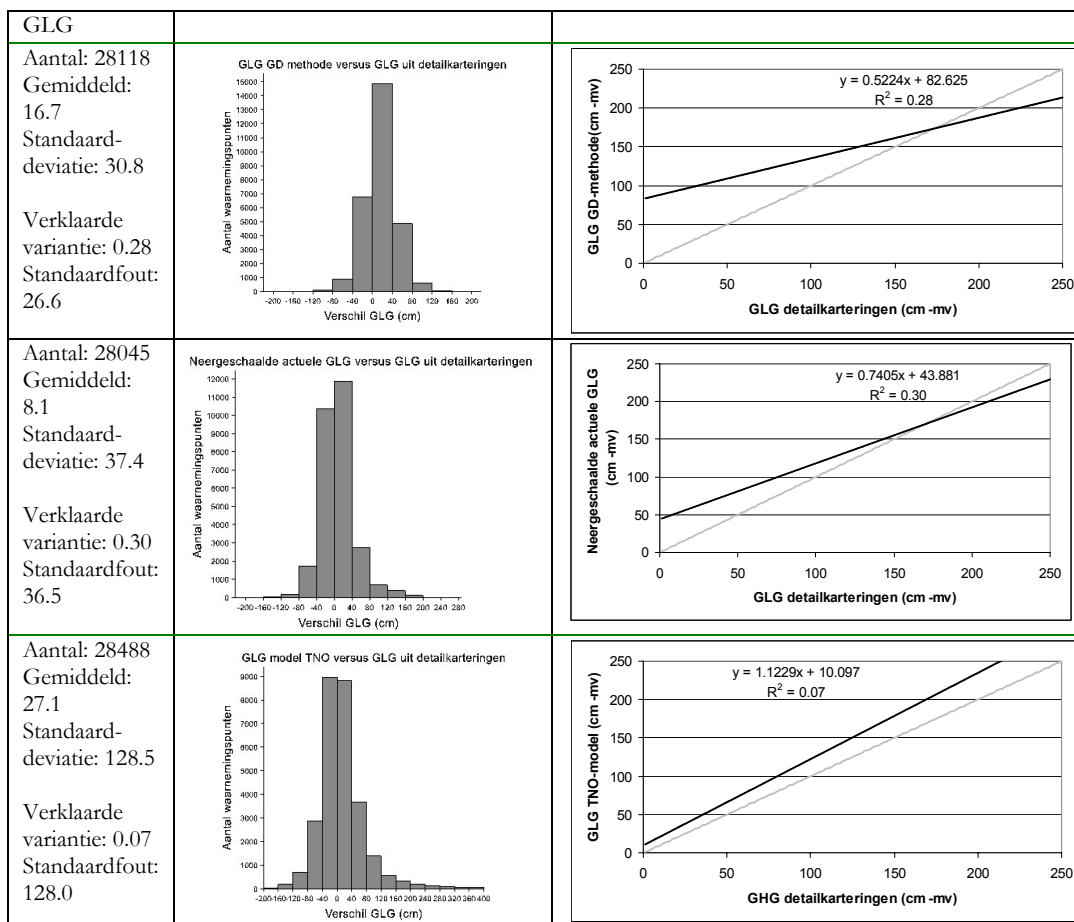
verkaard door de gridgrootte van 100 bij 100 meter. Het Modflow model heeft naast het grote gemiddelde verschil ook een grotere afvlakking voor de GHG.



Figuur 8.9 Validatieresultaten voor de GHG voor de digitaal beschikbare detailkarteringen.

Bij de GLG is te zien dat het gemiddelde verschil bij de neergeschaalde actuele GLG het kleinste is en 8.1 cm bedraagt. De Gd-methode geeft een gemiddeld verschil van 16,7 cm en de Modflowresultaten een gemiddeld verschil van 27,1 cm. Indien gekeken wordt naar de regressielijn kan worden geconcludeerd dat de afvlakking bij de Gd-methode het grootste is, gezien de geringe richtingscoëfficiënt. Het Modflow model heeft een geringe afvlakking maar daarentegen ook een zeer geringe verklaarde variantie. Op basis van de resultaten kan worden geconcludeerd dat de neergeschaalde actuele GLG het beste resultaat geeft indien gekeken wordt naar het gemiddelde en de regressielijn.





Figuur 8.10 Validatieresultaten voor de GLG voor de digitaal beschikbare detailkarteringen.

## 9 Vlakdekkende karakterisering van het grondwaterstandsverloop

In een nabewerking op de gegenereerde GxG gegevens is getracht het grondwaterstandsverloop vlakdekkend te karakteriseren. Het gaat hierbij om een vertaling van de GxG gegevens in duurlijnen en daggemiddelde regimecurves.

### 9.1 Duurlijnen

Duurlijnen geven het verband tussen een grondwaterstand en de tijdsduur dat die grondwaterstand wordt overschreden. De duurlijn is een cumulatieve verdeling. Indien het gemiddelde en de standaardafwijking van die verdeling kunnen worden gekarteerd voor elke pixel van het AHN, dan kan de gehele duurlijn op elke pixel, in de vorm van een cumulatieve frequentieverdeling, worden berekend. De karteringsmethode richt zich op het schatten van het gemiddelde en de standaardafwijking van de duurlijn uit de GHG, GLG en GVG. Intuïtief kan worden aangevoeld dat het gemiddelde van de GHG en GLG informatie geeft over het gemiddelde van de duurlijn, en dat het verschil tussen GHG en GLG informatie geeft over de standaardafwijking van de duurlijn. Daarom wordt met de gegevens van peilbuizen waar de GxG en de duurlijn precies bekend zijn een dergelijke relatie gezocht. Deze wordt vervolgens toegepast op alle locaties in het AHN waar de GxG is berekend.

Uit de gesimuleerde tijdreeksen worden per stambuis duurlijnen bepaald. Elke simulatie betreft een periode van 30 jaar. Een grondwaterstand in de vorm van een duurlijn wordt dus berekend uit de som van grote hoeveelheden neerslagoverschotten en een ruisterm. Weliswaar vertoont het neerslagoverschot temporele autocorrelatie maar de grondwaterstanden kunnen, omdat het er zeer veel zijn, bij benadering toch normaal verdeeld verondersteld worden (de "centrale limietstelling" uit de statistiek). Dit betekent dat de duurlijn gezien mag worden als een cumulatieve normale verdeling (errorfunctie), beschreven door  $\mu$  en  $\sigma$ . Voor natte locaties wordt de grondwaterstand begrensd door het maaiveld, waardoor de verdeling wellicht lognormaal is. Hiermee is bij het gebruik van deze methode geen rekening gehouden. Op de locatie van de stambuizen is de duurlijn bekend, en kunnen dus  $\mu$  en  $\sigma$  worden bepaald. Bovendien zijn uit dezelfde reeks simulaties de GHG, GVG en GLG bekend.

Aangezien de stambuizenset binnen het beheergebied van waterschap Regge en Dinkel te klein was om deze op grond van geohydrologie of geomorfologie verder op te splitsen is voor het gebied als geheel een relatie tussen  $\mu$  en  $\sigma$  van de duurlijn en hulpinformatie bepaald. In dit onderzoek is de aanpak als volgt:

- a). Over alle stambuizen samen worden regressierelaties vastgesteld die  $\mu$  en  $\sigma$  voorspellen mbt GHG en GLG.

- b). Op elke 25\*25 m<sup>2</sup> gridcel van het AHN waarvan de GHG, GVG en GLG zijn berekend, kunnen nu ook de  $\mu$  en  $\sigma$  van de duurlijn worden berekend door toepassing van de regressierelatie uit stap a. Hiermee is dus, uitgaande van de centrale limietstelling, de complete duurlijn voor elke locatie bekend.
- c). Uitgaande van overschrijdingsduren van 7, 22, 37, 52,..., 337, 352 dagen per jaar kunnen dus 24 kaarten worden gegenereerd waarin de bij deze overschrijdingsduur behorende grondwaterstanddiepten worden weergegeven. Het is echter ook mogelijk bij tussenliggende overschrijdingsduren (mits een geheel aantal dagen) grondwaterstanddiepten te berekenen.

De betreffende grids met duurlijnen staan op Cd-rom\duurlijnen\duurlijn\_[7,22,37...352] waarbij het nummer staat voor een aantal dagen per jaar.

### ***Plausibiliteitstoets duurlijnen***

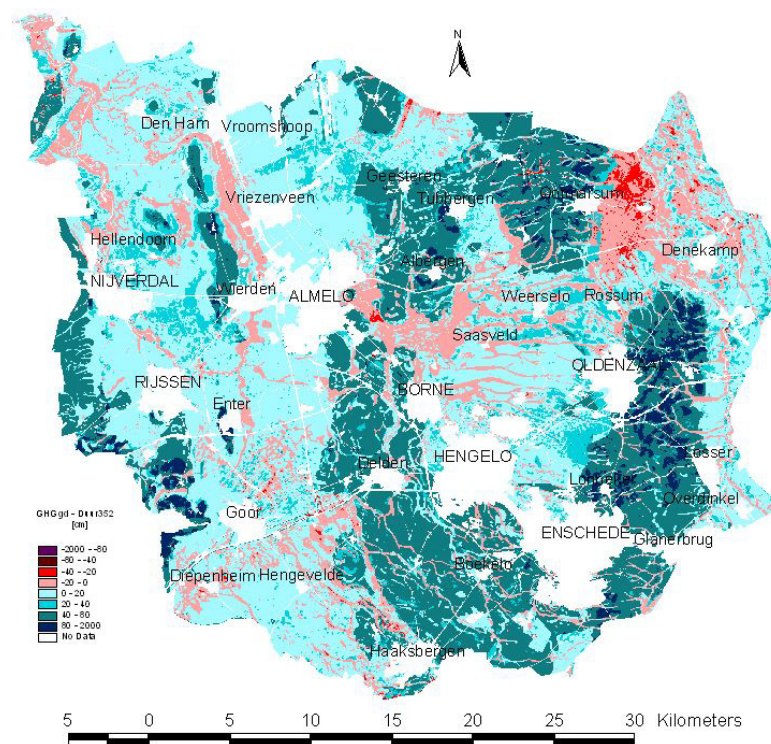
Om de plausibiliteit van de berekende duurlijnen te kunnen toetsen zijn een aantal aspecten die betrekking hebben op de resultaten nader bekeken. Het gaat hierbij om de volgende aspecten:

- Is de opeenvolging van de duurlijn consistent;
- Hoe is de verhouding van de getallen met de GxG-waarden.

Om het eerste punt te controleren wordt gewoonlijk in de vorm van een steekproef in de kaarten gekeken en de opeenvolging gecontroleerd. In sommige gevallen blijken de gegevens voor een puntlocatie consistent, maar blijkt dat de duurlijn is afgevlakt ten opzichte van de GxG. Voor het tweede punt wordt de volgende redenering gehanteerd. Een GHG wordt berekend uit de HG3, welke zijn bepaald uit de 3 hoogste 2 wekelijkse waarnemingen in een hydrologisch jaar. Dit heeft tot gevolg dat gesteld kan worden dat het niveau van de GHG minder dan 42 (3\* 14 dagen) en meer dan ongeveer 14 dagen voorkomt. In de praktijk blijkt de overschrijdingsduur van de GHG veelal ongeveer 30 tot 40 dagen te bedragen. Door gebruik te maken van de bovenstaande redenering is het mogelijk de kaarten vlakdekkend te controleren. Indien uitgegaan wordt van een minimale overschrijdingsduur van de GHG en een minimale onderschrijdingsduur van de GLG is het mogelijk kaarten van elkaar af te trekken om te kijken of een bepaalde situatie inderdaad extremer is dan de GHG of de GLG.

### **GHG – duur352 (figuur 9.1)**

Om de duurlijnen te controleren is de duurlijn 352 afgetrokken van de GHG. De duurlijn 352 komt overeen met een overschrijding van  $365 - 352 = 13$  dagen. Van deze overschrijding mag verwacht worden dat deze altijd extremer is dan de GHG. Dit heeft tot gevolg dat er alleen maar positieve getallen in de kaart voor mogen komen.



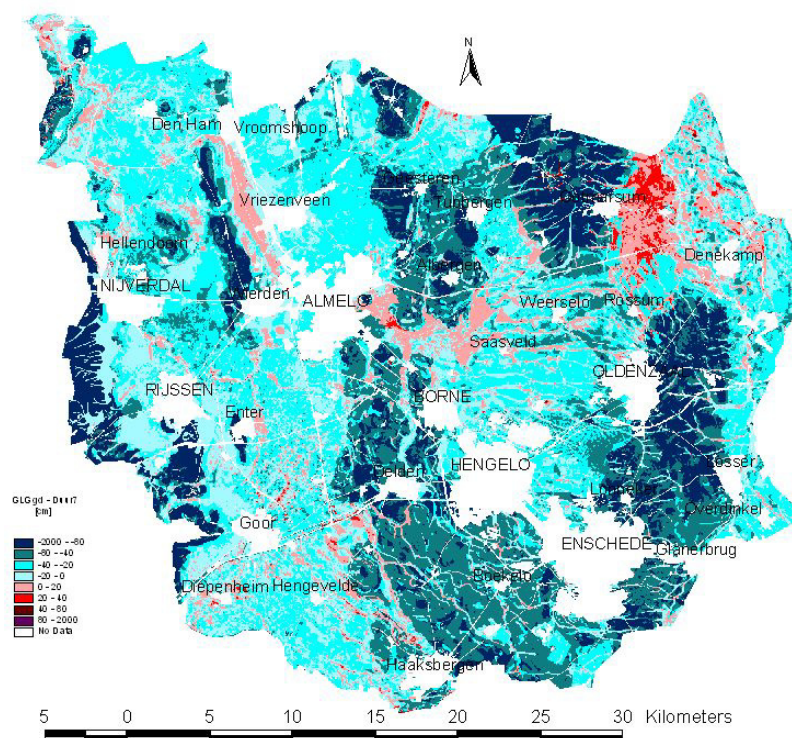
*Figuur 9.1 Verschil tussen de GHG en de overschrijdingsduur van de grondwaterstand van 13 dagen per jaar (GHG-overschrijding 13 dagen, waardoor positieve getallen aangeven dat de GHG minder extreem is en negatieve getallen aangeven dat de GHG extremer is).*

#### GLG – Duurlijn7 (figuur 9.2)

Om de duurlijnen te controleren is de duurlijn 7 afgetrokken van de GLG. De duur van 7 dagen komt overeen met een stand die 7 dagen per jaar wordt onderschreden. Dit is een extremere situatie dan de GLG waaruit volgt dat alleen negatieve getallen mogen worden verwacht.

Voor beide kaart geldt dat rode kleuren gezien de definitie niet voor mogen komen. Aangezien in beide kaarten dit wel het geval is kunnen we concluderen dat er een discrepantie is tussen de gegevensbestanden.

Uit nadere analyse blijkt dat de rode gebieden overeenkomen met gebieden die in de Gt-kaart een geringe fluctuatie hebben. In dergelijke gevallen wordt er bij het genereren van duurlijnen geëxtrapoleerd. In het donkerblauwe gebied hebben we juist te maken met relatief grote fluctuaties, ook in deze situatie is de kans groot dat er wordt geëxtrapoleerd, aangezien dergelijke situaties relatief weinig voorkomen in meetgegevens.

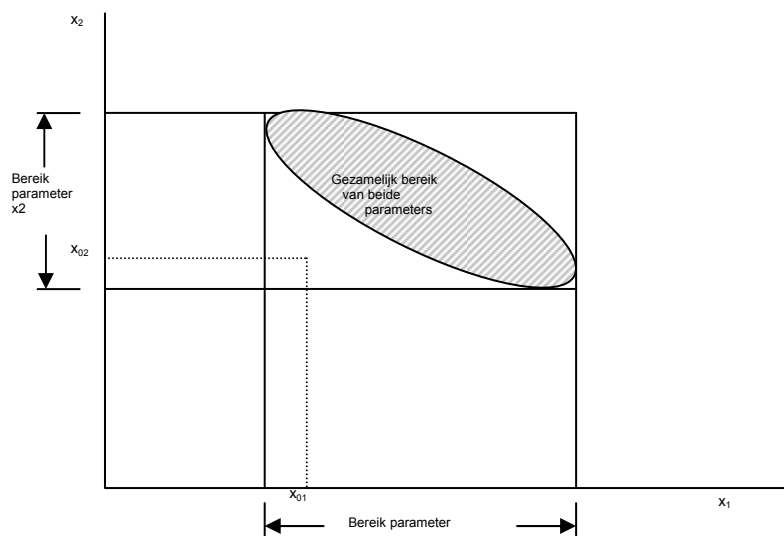


*Figuur 9.2 Verschil tussen de GLG en de onderschrijdingsduur van de grondwaterstand van 7 dagen per jaar (GLG-onderschrijding-13 dagen, waardoor positieve getallen aangeven dat de GLG extremer is en negatieve getallen aangeven dat de GLG minder extreem is).*

In figuur 9.3 is een voorbeeld weergegeven van extrapolatie bij het gebruik van multiple regressie. In de figuur is het domein weergegeven waarbinnen de originele meetdata voor een regressie met twee verklarende variabelen voorkomt. Het punt (x01, x02) ligt binnen het afzonderlijke bereik van zowel regressieparameters x1 als x2. Het punt ligt echter buiten het gecombineerde domein van de originele meetdata. Het gebruik van multiple regressie in dit geval betekent dat er eerder geëxtrapoleerd wordt, terwijl het gebruik van afzonderlijke enkelvoudige regressiemodellen niet zou leiden tot extrapolatie (Montgomery and Peck, 1992).

Een mogelijke oplossing voor het probleem is er voor te zorgen dat er minder vaak wordt geëxtrapoleerd. De huidige methode maakt bij de bepaling van de duurlijnen gebruik van GHG, GLG en GVG. Het gebruik van meerdere verklarende variabelen geeft statistisch gezien over het algemeen een hogere verklaarde variantie. Deze hogere verklaarde variantie gaat echter voornamelijk op voor de dataset waarop de parameters zijn gecalibreerd. Het gebruik van meerdere verklarende variabelen heeft echter tot gevolg dat er eerder wordt geëxtrapoleerd omdat we in plaats van één parameter te maken hebben met een meer-dimensionale parameter ruimte. Dit probleem is bij de Gd-kartering eerder aan de orde geweest bij de bepaling van de GxG op basis van stambuisregressie (Van der Gaast en Massop, 2003). Mogelijke oplossing is het gebruik van alleen de GHG of de GLG als verklarende variabelen. Statistisch gezien geeft het wellicht minder goede resultaten, maar extrapolatie komt minder vaak voor. Controle wordt echter ook lastiger. Daarnaast blijft de vraag in

hoeverre dit een nabewerkingsprobleem is, of dat het probleem eigenlijk in de gegenereerde GxG bestanden zit. Nader onderzoek om de exacte oorzaak vast te stellen is wenselijk.

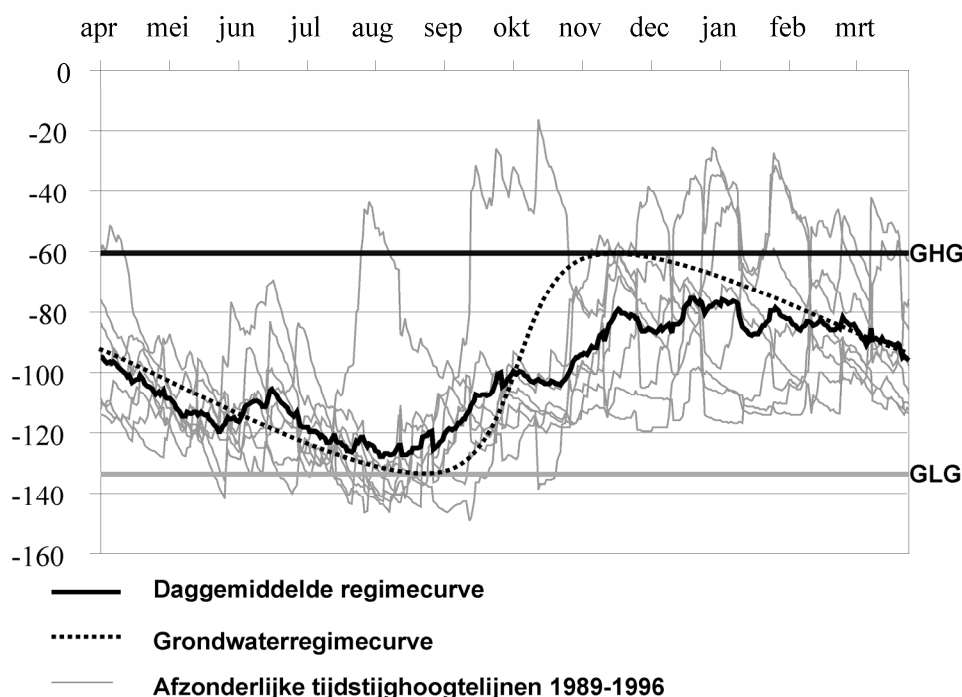


*Figuur 9.3 Een voorbeeld van extrapolatie bij het gebruik van multiple regressie (naar: Montgomery and Peck, 1992)*

## 9.2 Daggemiddelde regimecurves

In deze studie wordt de zogenaamde daggemiddelde regimecurve bepaald. De daggemiddelde regimecurves geven de verwachte grondwaterstand voor een dag in enig toekomstig jaar onder de huidige klimaatscondities. De oorspronkelijke grondwaterregimecurve is niet identiek aan de curve die verkregen wordt door het middelen van de grondwaterstanden op dezelfde data van de afzonderlijke jaren (Knibbe en Marsman, 1961; Van der Sluijs en Van Egmond, 1976a). In de praktijk wordt voor het bepalen van de grondwaterregimecurve echter vaak gebruik gemaakt van de gemiddelde dagstanden over verschillende jaren. De op deze manier verkregen gemiddelde curve is hierdoor niet identiek aan de regimecurve (Van der Gaast en Massop, 2005b). Voor deze curve wordt in dit onderzoek de term daggemiddelde regimecurve gehanteerd. De daggemiddelde regimecurve wordt dus bepaald door de grondwaterstand voor iedere datum over de afzonderlijke jaren te middelen, waardoor een middeling in de y-richting plaatsvindt. Een dergelijke middeling, waarbij de op hetzelfde tijdstip gemeten grondwaterstanden over een aantal jaren gemiddeld worden, levert een niet reële, afgevlakte curve op (Knibbe en Marsman, 1961; Van der Sluijs, 1982). De hoogste en laagste standen vallen immers niet elk jaar op hetzelfde tijdstip. Een dichter bij de werkelijkheid aansluitend beeld ontstaat als de jaarlijks optredende hoogste respectievelijk laagste standen, ongeacht het tijdstip van voorkomen worden gemiddeld. Dit systeem ligt ten grondslag aan de grondwaterregimecurve, welke wordt verkregen door in de richting loodrecht op de te verkrijgen curve te middelen (Stol, 1958). In dit geval wordt er een middeling in zowel de x- als de y-richting uitgevoerd. Karakteristiek voor deze grondwaterregimecurve is dat zowel de helling van de dalende en stijgende tak als het tijdstip van

dalen en stijgen overeenkomt met het gemiddelde beeld van de afzonderlijke jaren (Knibbe en Marsman, 1961; Van der Sluijs en Van Egmond, 1976b). Uit figuur 9.4 komt duidelijk naar voren dat de daggemiddelde regimecurve is afgevlakt en de GHG en GLG door de daggemiddelde regimecurve niet wordt bereikt. Statistisch gezien geeft de regimecurve de beste schatting van de grondwaterstand voor een bepaalde dag in een willekeurig jaar. De grondwaterregimecurve wordt daarentegen gekenmerkt door een langzame daling in het voorjaar en een snelle stijging van de grondwaterstand in het najaar. De GHG en GLG worden door deze curve bereikt en het gedrag van de grondwaterstand is in deze figuren goed af te lezen. In tegenstelling tot de daggemiddelde regimecurve geeft de grondwaterregimecurve ook informatie over de gemiddelde samenhang van de grondwaterstand in de tijd.



Figuur 9.4. Tijd-stijghoogtelijnen, grondwaterregimecurve en daggemiddelde regimecurve over de jaren 1989-1996 op basis van dagwaarden voor hydrologische jaren (meetpunt 34DP0155) (naar: Van der Gaast en Massop, 2005b).

In dit onderzoek wordt voor 24 dagen in het jaar de verwachte grondwaterstand geschat voor elke stambuis. Deze schatting is gebaseerd op de 30-jaarse tijdreeks die met tijdreeksanalyse is berekend. Voor een groep stambuizen kan daarna een relatie worden bepaald tussen de GHG, GVG en GLG en de verwachte stand op een bepaalde dag. Voor het gehele jaar zijn dit dus 24 relaties. Deze 24 relaties worden vervolgens toegepast op alle locaties in het AHN waarvoor de GxG is berekend. Hiermee wordt de daggemiddelde regimecurve vervolgens berekend. In de praktijk is op een bepaalde dag in een willekeurig jaar het feitelijk grondwaterniveau niet altijd hetzelfde (gelijk aan het gemiddelde) maar is er sprake van een zekere spreiding. Deze spreiding kan op dezelfde wijze worden voorspeld en toegepast op AHN-locaties. Voor de daggemiddelde regimecurve is vooral de opeenvolging in de standen in de tijd zoals eerder gesteld niet realistisch. Hierdoor is deze curve alleen



bruikbaar voor een schatting van de grondwaterstand op een bepaalde dag in een toekomstig jaar, waardoor deze curve een beperkte praktische gebruikswaarde heeft.

Daggemiddelde regimecurves kunnen worden berekend door voor alle dagnummers de grondwaterstanden over de 30-jaar se klimaatsperiode te middelen. Normaliter beperkt de daggemiddelde regimecurve zich tot verwachtingen op de 14<sup>e</sup> en 28<sup>e</sup> van elke maand indien deze geheel op 14-daagse metingen is gebaseerd. Bij het simuleren van tijdreeksen op dagbasis kunnen echter ook daggemiddelde regimecurves op dagbasis worden gegenereerd. In dit onderzoek is voor het gehele beheergebied van het waterschap Regge en Dinkel een relatie tussen de daggemiddelde regimecurve en de hulpinformatie bepaald. De werkwijze om daggemiddelde regimecurves vast te stellen voor alle 25\*25 m<sup>2</sup> gridcellen is als volgt:

- a). Met behulp van een aantal gesimuleerde 30-jaar se tijdreeksen voor elk van de stambuizen wordt voor elk van de stambuizen een daggemiddelde regimecurve opgesteld. Dit resulteert bij een keuze voor 24 intervallen in ongeveer 15 daagse grondwaterstanden per stambuis.
- b). Over alle stambuizen samen wordt voor elk tijdstip een relatie bepaald die het punt op de daggemiddelde regimecurve voorspelt m.b.v. de GHG, GVG en GLG. Dit leidt tot 24 regressiefuncties met de algemene vorm:

$$D_t = \beta_{0,t} + \beta_{1,t} * GHG + \beta_{2,t} * GVG + \beta_{3,t} * GLG$$

met  $D_t$  is de grondwaterstand op de daggemiddelde regimecurve op tijdstip  $t$  ( $t=1..24$ ) en  $\beta_{0,t}$ ,  $\beta_{1,t}$ ,  $\beta_{2,t}$  en  $\beta_{3,t}$  zijn 4 regressiecoëfficiënten voor elk tijdstip  $t$ .

- c). De 24 regressierelaties worden toegepast op elke 25\*25 m<sup>2</sup> gridcel onder invulling van de GHG, GVG en GLG. Dit levert 24 punten van de daggemiddelde regimecurve op elke 25\*25 m<sup>2</sup> gridcel op.

Voor elk voorspeld punt van de regimecurve kan een betrouwbaarheidsband worden geconstrueerd op basis van de effecten van de weersvariatie op de grondwaterstanden op een specifiek dagnummer. Het 5%-percentiel en het 95%-percentiel van de waarschijnlijkheidsverdeling op een specifiek dagnummer wordt eveneens bepaald en via stap b en c gekarteerd.

De grids met daggemiddelde regimecurves staan op Cd-rom\regimecurves\P50\_[1 t/m 24] waarbij het nummer staat voor een van de 24 gelijke tijdsintervallen per jaar. Daarnaast zijn er bestanden met 5 en 95 percentielwaarden van de regimecurves P5\_[1 t/m 24] en P95\_[1 t/m 24].





## 10 Discussie

### *Gebruikswaarde*

Het onderzoek heeft geresulteerd in een aantal producten die betrekking hebben op de fluctuatie van de freatische grondwaterstand. In eerste instantie is er een Gd-kaart gemaakt, welke informatie over de GxG bezit en altijd in combinatie met de bijbehorende informatie over de onzekerheid gebruikt moet worden. De gebruiksschaal van deze kaart is naar schatting 1 : 50 000, met een pixel grootte van 25 bij 25 m. Op de kaart ontbreekt veelal patrooninformatie. Daarentegen geeft de Gd-kaart informatie omtrent de onzekerheid. Hierdoor is de Gd-kaart vooral geschikt voor uitspraken die betrekking hebben op gebiedsgemiddelden of analyses waarbij gebruik wordt gemaakt van de informatie over de onzekerheid.

De geïnterpoleerde detailkarteringen beslaan ruim een kwart van het beheergebied van het waterschap. De meeste van de gebruikte detailkarteringen zijn in de jaren 90 gekarteerd en hebben een boorpunt dichtheid van 1 punt per ha. De bijbehorende kaartschaal is 1 : 10 000. De in het kader van dit onderzoek ontwikkelde interpolatietechniek maakt gebruik van hulpinformatie in de vorm van lokale informatie over de maaiveldhoogte ligging en de bodemkaart. De lijnen op de bodemkaart zijn niet alleen begrensd op basis van de beschreven boorpunten, die aanwezig zijn in het digitale bestand, maar ook op basis van tussenboringen die niet zijn opgenomen in het digitale boorpuntenbestand. Hierdoor neemt de gebruikswaarde en gedetailleerdheid van de kaart toe. Naar schatting hebben de geïnterpoleerde detailkarteringen een gebruiksschaal van 1 : 7 500.

De neergeschaalde actuele Gt-kaart is gebiedsdekkend beschikbaar. De gebruikte techniek kan worden gezien als een techniek om op een snelle en eenvoudige wijze de Gt-informatie te actualiseren. Bij de techniek wordt gebruik gemaakt van de bodem en Gt-kaart met een schaal 1 : 50 000, in combinatie met maaiveldhoogte informatie met een hoge resolutie (25x25 m). Door de combinatie van beide gegevensbronnen mag verwacht worden dat de gebruiksschaal gedetailleerder is dan 1 : 50 000. Aan de andere kant wordt gebruik gemaakt van een verdroging welke gebiedsdekkend wordt opgelegd. Hierdoor wordt naar schatting een deel van de verhoogde gedetailleerdheid weer tenietgedaan. De gebruiksschaal van de kaart blijft hierdoor naar schatting 1 : 50 000. De kaart is vooral geschikt voor toepassingen waarbij naast de absolute waarde van de kaart ook patrooninformatie van belang is, zoals bij het bepalen van afvoer of kwel/wegzijgings informatie.

De regimecurves zijn afgeleid van de gecombineerde Gd-kaart met daarin de geïnterpoleerde detailkarteringen. De geleverde regimecurve heeft betrekking op de daggemiddelde grondwaterregimecurve, welke wordt verkregen door grondwaterstanden op dezelfde dag in verschillende jaren te middelen. Door de middeling op dagbasis geeft de daggemiddelde regimecurve een afgevlakt beeld, hetgeen tot uiting komt in het niet bereiken van de GHG en de GLG. De daggemiddelde grondwaterregimecurve geeft statistische gezien de beste schatting van een

grondwaterstand voor een willekeurige dag. De daggemiddelde grondwaterregimecurve is een statistische curve die weinig relatie in de tijd weergeeft. Door de bepalingswijze van de daggemiddelde regimecurve en de daarmee samenhangende afvlakking van het berekende grondwaterstandsverloop is de daggemiddelde regimecurve voor bijvoorbeeld schadeberekeningen niet bruikbaar. In het kader van Waternood heeft men behoefte aan een actueel grondwaterregime (AGR). Ook hiervoor is de daggemiddelde regimecurve niet bruikbaar en verdient het de voorkeur gebruik te maken van de oorspronkelijke grondwaterregimecurve of een samenvatting hiervan in de vorm van de GHG en GLG, oftewel de Gt.

De duurlijnen zijn eveneens afgeleid van de gecombineerde Gd-kaart met daarin de geïnterpoleerde detailkarteringen. Bij controle van de duurlijnen is gebleken dat de duurlijninformatie voor een gedeelte van het gebied niet consistent is met de GxG informatie waarvan de duurlijnen zijn afgeleid, en derhalve voor een gedeelte van het gebied niet plausibel zijn. Dit is vermoedelijk het gevolg van extrapolatie bij de gebruikte multiple regressiemethode. De extrapolatie komt waarschijnlijk vooral voor in gebieden met een geringe fluctuatie. Zonder aanvullend onderzoek is het echter moeilijk te zeggen of de oplossing moet worden gezocht in het aanpassen van de methode voor de bepaling van de duurlijn of in verbetering van de kwaliteit van de GxG gegevens. Daarnaast kan worden opgemerkt dat er bij de bepaling van de duurlijnen uitgegaan wordt van een normaalverdeling van de grondwaterstand, terwijl deze vooral onder natte omstandigheden is begrensd door het maaiveldsniveau en derhalve wellicht log-normaal verdeeld is. Het van belang bij gebruik van de duurlijn informatie rekening te houden met eventuele afwijkingen van de duurlijninformatie met de werkelijke grondwaterstandsfluctuatie.

Ondanks de goede schatting van de Gt is de gebruikswaarde van de Gd-kaart beperkt. Er kan een parallel worden getrokken tussen de Gd-kaart en de daggemiddelde regimecurve. Ook de daggemiddelde regimecurve geeft de beste schatting van de grondwaterstand op een willekeurige dag. De gebruikswaarde van deze curve is echter beperkt doordat deze curve in sterke mate is afgevlakt en een geringe relatie in de tijd heeft (geen tijdspaatroon). De Gd-kaart is evenals de daggemiddelde regimecurve afgevlakt en heeft weinig patrooninformatie en heeft derhalve een geringe relatie in de ruimte.

### ***Mogelijke verbeteringen***

Om de grondwaterdynamiek beter in beeld te krijgen is een gebiedsdekkende detailkartering de meest optimale oplossing. Op deze manier wordt naast de beschikbare peilbuisinformatie rekening gehouden met tal van factoren die de fluctuatie van de grondwaterstand en de ruimtelijke patronen beïnvloeden. Om het te karteren areaal te beperken is het mogelijk om te bekijken welke detailinformatie analoog beschikbaar is. Het is hierbij wel van belang dat kritisch gekeken wordt naar de actualiteit van de gegevens. Indien er relevante analoge detailinformatie beschikbaar is kan deze relatief goedkoop, door gebruik van de nieuwe interpolatietechniek, digitaal worden gemaakt. Voor het overige deel is het ook mogelijk om in plaats van detailkarteringen een kaart te maken met behulp van de gepresenteerde neerschalingmethode. Wellicht is het raadzaam deze methode eerst

aan te passen door te onderzoeken in hoeverre bodemkundige informatie bepalend is voor veranderingen in de grondwaterdynamiek. Vervolgens kan de kaart per 1 : 50 000 kaartvlak op basis van veldonderzoek worden bijgesteld, door een ervaren karteerder te vragen in hoeverre de verschuiving in de Gt overeenkomt met de bevindingen in het veld.

Een andere mogelijke verbetering is het verzamelen van meer puntinformatie in de vorm van veldschattingen en/of gerichte opnames. Bij het gebruik van gerichte opnames is het van belang rekening te houden met het meettijdstip. Daarnaast is het van belang het minimum aantal puntlocaties af te stemmen op de gebruikte stratumgrootte conform statistische vuistregels. Aangezien GxG informatie op basis van buizen, afhankelijk van de bodemkundige situatie, nogal kan verschillen van metingen in boorgaten is het van belang buisinformatie alleen te gebruiken voor het transformeren van metingen in boorgaten. De buisinformatie kan vervolgens niet in de vorm van puntinformatie gebruikt worden in combinatie met GxG gegevens in boorgaten.

Andere mogelijkheden om de grondwaterdynamiek in kaart te brengen zoals het gebruik van modellen bieden wellicht ook goede perspectieven maar vallen buiten de scope van dit onderzoek.

### ***Stratificatie***

Bij de stratificatie is voor een belangrijk deel gebruik gemaakt van de bodemkaart 1 : 50 000. Voor het beheergebied van waterschap Regge en Dinkel is daarnaast voor de stratificatie gebruik gemaakt van detailkarteringen. Voor een stratificatie ten behoeve van een Gd-actualisatie waarbij regressiemodellering wordt toegepast, is het de vraag in hoeverre de stratificatie mag worden doorgevoerd. Wellicht is het beter om gebruik te maken van een stratificatie op hoofdlijnen, waarbij gedacht kan worden aan bijvoorbeeld geomorfologische eenheden in combinatie met belangrijke bodemkundige eigenschappen die van invloed zijn op de GxG. Hierbij is het van belang rekening te houden met kwel en wegzijgingsgebieden. Om te voldoen aan statistische vuistregels bij modelselectie is het verder van belang de stratumgrootte aan te passen aan de puntdichtheid teneinde stabiliteit bij de modelselectie te verkrijgen.

### ***Tijdreeksmodellering***

Voor het klimaatrepresentatief bepalen van de Gt op basis van meetreeksen met een beperkte meetperiode is het raadzaam om gebruik te maken van modellen die rekening houden met de niet-lineaire processen die de fluctuatie van de grondwaterstand bepalen. Het gebruik van een deterministisch model zoals SWAP of een tijdreeksmodel met stapfunctie zoals TARSO (Knotters, 2001) geven wellicht betere resultaten dan de bij deze studie gebruikte tijdreeksmodellen. Een meer deterministische beschrijving van de berging en het afvoerproces, in de vorm van een drainageweerstand die afhankelijk is van de grondwaterstand, kan tijdreeksmodellering wellicht minder afhankelijk maken van een bepaalde kalibratieperiode. In het kader van een studie naar grondwatergestuurd peilbeheer zijn dergelijke aanpassingen doorgevoerd (Van der Gaast en Massop, in voorbereiding).

Voor het kwantificeren van de onzekerheid in de berekende grondwaterstandskarakteristieken is nader onderzoek noodzakelijk. Vooral het meenemen van de onzekerheid in de gekalibreerde tijdreeksparameters en het kwantificeren van deze onzekerheid vraagt om nader onderzoek.

Het effect van ruimtelijke verschillen in het neerslagoverschot op de GxG lijkt veel kleiner dan de temporele verschillen. Een breder onderzoek zou uit kunnen wijzen of de neerslagpatronen ruimtelijk vergelijkbaar zijn, waardoor de berekende GxG ruimtelijk niet sterk van elkaar verschillen.

### ***Stambuisregressie***

Bij stambuisregressie wordt er van uitgegaan dat er gebruik wordt gemaakt van een stambuizenet die de belangrijkste variatie in hydrologische omstandigheden (geohydrologie en ontwaterings situatie) representeert. Dit wil zeggen dat er gebruik wordt gemaakt van een stambuizenet die alle Gt's omvat. Hierbij dient echter te worden opgemerkt dat eenzelfde Gt door verschillende omstandigheden kan ontstaan. Daarnaast dient ook de verdeling van de stambuizenet over de Gt's regelmatig te zijn. Op het ogenblik zijn vooral de stambuizen met een droge Gt (Gt VI, VII en VIII) oververtegenwoordigd. De gebruikte buizen binnen de stambuizenet zijn bepalend voor de resultaten van de stambuisregressie. Indien niet alle omstandigheden die in een gebied voor kunnen komen zijn vertegenwoordigd in de stambuizenet, kan dit de resultaten nadelig beïnvloeden. Uitzonderingssituaties in de geohydrologie of de ontwateringssituatie kunnen de onzekerheid bij de stambuisregressie sterk beïnvloeden. In dergelijke uitzonderingssituaties kan de grondwaterstand anders reageren op de neerslag, waardoor het meetpunt kan lijken op een uitbijter in de relatie.

Bij de stambuisregressie wordt een winter- of zomermeting gecorrigeerd voor te natte of te droge omstandigheden ten opzichte van de GHG of de GLG. Als gevolg van verschil in landschappelijk ligging binnen hetzelfde stratum, (bijvoorbeeld een wegzijgings(dekzandrug)- of kwelsituatie(beekdal)) kan er een faseverschil ten opzichte van het wegzijgingsgebied aanwezig zijn op het moment dat bijvoorbeeld de grondwaterstand in het beekdal op zijn hoogst is. Hierdoor wordt, indien de correctie plaatsvindt op basis van het GHG niveau, de meting in het wegzijgingsgebied foutief gecorrigeerd. Daarnaast kan er o.a. door verschillen in de drainageweerstand (bijvoorbeeld het al dan niet voorkomen van storende lagen in het bodemprofiel, slootdichtheid etc), een verschil ontstaan in de overschrijdingsfrequentie van de GHG en de GLG.

De berekende onzekerheid bij het gebruik van stambuisregressie wordt wellicht onderschat omdat de onzekerheid wordt bepaald gegeven de stambuizenet en gegeven de meetdatum. Nader onderzoek is noodzakelijk om te bepalen of de onzekerheid als gevolg van verschillende meetdata groter is dan de berekende onzekerheid volgens de regressie. In dit onderzoek is alleen gekeken naar het effect van verschillende meetdata terwijl ook de stambuizenet van belang is voor de bepaling van de GxG en haar onzekerheid. Nader onderzoek is noodzakelijk op het gebied van de representativiteit van stambuizenets voor een gebied. Hierbij kan

gedacht worden aan het aspect van buisdrainage en de spreiding van de buizenset over de verschillende Gt's.

### ***Maaiveldsregressie***

In de gebruikte Gd-methode is het vaststellen van de ruimtelijke relaties op basis van de beschikbare puntinformatie een groot probleem. Dit probleem wordt veroorzaakt door vier deelaspecten die een relatie met elkaar hebben.

- stratificatie;
- aantal punten per stratum;
- kwaliteit puntinformatie;
- aantal verklarende variabelen.

Het eerste aspect is de stratificatie die wellicht te ver is doorgevoerd. Doordat de stratificatie het gebied heeft opgedeeld in een groot aantal eenheden is het aantal punten dat per eenheid beschikbaar, is relatief gering. Een gering aantal punten in relatie tot het grote aantal verklarende variabelen geeft problemen bij de maaiveldsregressie. Deze scheve verhouding tussen het aantal meetpunten en het aantal verklarende variabelen zorgt er voor dat de resultaten niet stabiel zijn, aangezien niet aan statistische vuistregels voor modelselectie is voldaan. Dit wordt mede veroorzaakt door de geringe kwaliteit van de puntinformatie, aangezien gerichte opnamen voor een deel niet-representatief in de tijd of ruimte zijn uitgevoerd. Door de krappe verhouding tussen het aantal meetpunten en het aantal verklarende variabelen is de kwaliteit van de puntgegevens erg belangrijk. Een paar niet-representatieve meting op een dataset van 20 tot 30 punten kunnen veel impact hebben op het geselecteerde regressiemodel. De stabiliteit kan naar verwachting, door het gebruik van meer puntinformatie per regressiemodel, veel stabielier worden gemaakt.

Het relatief geringe aantal punten dat gebruikt wordt bij de maaiveldsregressie is tevens de verklaring waarom hulpvariabelen met een naar verwachting hoge voorspelkracht na de modelselectieprocedure maar in weinig strata voorkomen als verklarende variabele. De selectieprocedure is in hoge mate afhankelijk van de kwaliteit van de puntgegevens en het aantal puntgegevens. Onvolkomenheden in de puntgegevens kunnen er gemakkelijk toe leiden dat er verklarende variabelen worden geselecteerd die weliswaar 'passen' bij de puntgegevens maar het patroon van de Gt niet goed weergeven. In dit geval kan ook de berekende onzekerheid worden onderschat.

### ***Gt op basis van karteerbare kenmerken***

Door gebruik te maken van een frequentieverdeling voor het maaiveld en een frequentieverdeling voor de GxG binnen een Gt-vlak is het relatief eenvoudig de GxG met behulp van het AHN neer te schalen. Hierbij wordt aangenomen dat binnen ieder Gt-vlak een uniek lineair verband bestaat tussen de GxG en de maaiveldshoogte. Het gebruik van de buisgegevens voor de bepaling van de actuele situatie geeft een te droog beeld en relatief grote spreiding, welke deels wordt veroorzaakt door variatie in de hoogte van het maaiveld. Een ander deel van het te droge beeld wordt veroorzaakt doordat er in stambuizen in het algemeen geen rekening wordt gehouden met het optreden van schijnspiegels als gevolg van

storende lagen in het bodemprofiel. Bij het meten van de grondwaterstand wordt tegenwoordig namelijk veelvuldig gebruik gemaakt van piëzometers met een relatief kort filter op grotere diepte. Hierdoor is het mogelijk dat er in gronden met een sterke anisotropie een stijghoogte wordt gemeten die niet overeenkomt met de freatische grondwaterstand. Met name de GHG wordt in deze gronden door dit effect veelal te droog ingeschat. Door gebruik te maken van detailkarteringen wordt dit probleem ondervangen en geeft het daarmee een oplossing voor het eventueel voorkomen van schijnspiegels.

Voor het bepalen van de actuele Gt wordt binnen de gebruikte neerschalingmethode uitgegaan van een integrale verdroging conform de gegenereerde tabel. Binnen dit onderzoek is gebruik gemaakt van detailkarteringsinformatie. Bij detailkarteringen (schaal 1 : 10 000) worden veldschattingen gedaan van de GxG op basis van profielkenmerken, waterhuishoudkundige situatie, nabijgelegen (tijdelijke) peilbuizen, vegetatie en bodemgebruikskennmerken. Deze schattingen worden uitgevoerd met een gemiddelde punt dichtheid van 1 boring per hectare. Recent uitgevoerde detailkarteringen maken het mogelijk om regionale Gt-tabellen op te stellen. Op deze manier kan regionale informatie worden gebruikt, waardoor de opgelegde integrale verdroging past bij de regio. Een dergelijke methode kan worden gezien als methode om het gebied tussen de detailkarteringen op te vullen. De regionale verschillen bleken echter klein te zijn, waardoor stratificatie in de vorm van regio's niet veel extra informatie geeft. Uit de detailkarteringen blijkt, dat gronden met o.a. een geringe berging (bijvoorbeeld keileemgronden) in het bodemprofiel in het algemeen grotere fluctuaties hebben dan bodemprofielen met een grote berging (bijvoorbeeld grof zand). Hierdoor kan een deel van de variatie van de GHG en GLG binnen een Gt-klasse door te stratificeren op basis van bodemcode (inclusief toevoegingen) worden verklaard. In welke mate dit invloed heeft op de resultaten van de GxG voorspellingen is niet nader onderzocht, omdat dit buiten het bestek van dit onderzoek valt.

Naast het toepassen van een regionale tabel met een integrale verdroging, is het ook mogelijk om de GxG verschuiving voor individuele vlakken bij te stellen, teneinde naast verdroging ook het voorkomen van bijvoorbeeld vernatting in de kaart tot uiting te laten komen. Deze aanpak vraagt echter extra informatie die in het veld moet worden verzameld.

Bij de beschreven methode wordt geen rekening gehouden met onzekerheid. Aan de hand van nader onderzoek is het waarschijnlijk relatief eenvoudig om naast de GxG ook informatie over de bijbehorende onzekerheid te genereren op basis van lokale variatie in het AHN en nauwkeurigheden van de GxG op puntniveau. De invloed van de onzekerheid op de uitkomsten van de methode kan vervolgens worden onderzocht.

De gebruikte methode is sterk afhankelijk van de gebruikte ruimtelijke schematisatie van de kaartvlakken. Binnen een kaartvlak wordt immers een verdeling gemaakt van de maaiveldshoogte, die vervolgens representatief wordt geacht voor de verdeling van de GxG binnen het desbetreffende kaartvlak. Indien de kaartvlakken te groot

worden mag verwacht worden dat de maaiveldshoogte niet meer representatief is voor de GxG verdeling. Het gebruikte lineaire verband tussen het maaiveld en de GxG geeft bij grotere vlakken meer afwijking met het werkelijke verloop. Vooral bij langgerekte ruimtelijke eenheden langs bijvoorbeeld beken is de maaiveldshoogteverdeling niet meer representatief voor de GxG verdeling. Het verloop van hoog naar laag vindt in dit geval namelijk plaats in de lengterichting, terwijl het GxG verloop voornamelijk plaatsvindt loodrecht op de beek. Nader onderzoek naar goede opdeling van dergelijke ruimtelijke eenheden is aan te bevelen.

### ***Validatie***

Op basis van de validatieresultaten komt naar voren dat het moeilijk is om een eenduidige uitspraak te doen over de beste methode om de GxG vast te stellen. Indien men naar de gemiddelde afwijking kijkt komt de Gd-methode er als beste uit. De vraag is echter of het Gd-resultaat voor alle toepassingen bruikbaar is. Indien de Gt informatie wordt gebruikt om afgeleide gegevens te genereren die in hoge mate afhankelijk zijn van Gt-patronen is het beter om een andere Gt-actualisatiemethode toe te passen. Indien men naast de GxG geïnteresseerd is in de onzekerheid van de GxG, is de Gd-methode het meest geschikt. Hierbij moet echter worden opgemerkt dat meer onderzoek gewenst is naar de wijze waarop de onzekerheid wordt bepaald en de kwantificering van de onzekerheid. Daarnaast is meer onderzoek gewenst naar het gebruik van informatie over de onzekerheid. Vooral het gebruik van ruimtelijke verschillen in onzekerheid kan verschillen geven in de uiteindelijke uitkomsten indien gebruik wordt gemaakt van deze informatie. Nader onderzoek naar het gebruik van ruimtelijke verschillen in onzekerheid bij beleidsbeslissingen is wenselijk.

Vanwege het grote effect van systematische fouten is het wenselijk nader onderzoek te doen naar de mogelijkheden om onzekerheden beter in te schatten en te kunnen scheiden in toevallige en systematische fouten.





## 11 Conclusies

### ***Gebruikswaarde***

**De Gd-kaart geeft statistisch gezien de beste schatting van de actuele Gt op een schaal 1 : 50 000.**

De gebruiksschaal van de Gd-kaart is naar schatting 1 : 50 000. Hierdoor is de Gd-kaart vooral geschikt voor uitspraken die betrekking hebben op gebiedsgemiddelden.

**De Gd-kaart dient gebruikt te worden in combinatie met de informatie over de onzekerheid.**

Naast de Gt-informatie, met informatie over de GxG, wordt in de Gd-methode ook een schatting gemaakt van de onzekerheid van de GxG. De Gd-kaart dient altijd in combinatie met de bijbehorende informatie over de onzekerheid gebruikt te worden aangezien de patrooninformatie in de kaart minder betrouwbaar is en de kaart in meer of mindere mate is afgevlakt.

**De geïnterpoleerde detailkarteringen geven grondwaterstands informatie op een hoog detailniveau.**

De voor dit onderzoek ontwikkelde interpolatietechniek maakt gebruik van hulpinformatie in de vorm van lokale informatie over de maaiveldhoogteligging en bodemkundige informatie. Naar schatting hebben de geïnterpoleerde detailkarteringen een gebruiksschaal van 1 : 7 500.

**De neergeschaalde actuele Gt-kaart geeft op een snelle eenvoudige wijze inzicht in de actuele GxG.**

De gebruikte neerschalingstechniek kan gezien worden als een techniek om op een snelle en eenvoudige wijze de Gt-informatie te actualiseren. De gebruiksschaal van de kaart is naar schatting 1 : 50 000. De kaart is vooral geschikt voor toepassingen waarbij naast de absolute waarde van de kaart ook patrooninformatie van belang is, zoals bij het bepalen van afvoer of kwel/wegzijgings. Door de eenvoudige heldere werkwijze kan de gebruiker beoordelen of de kaart geschikt is voor een toepassing.

**De duurlijnen zijn voor een deel van het onderzoeksgebied niet reëel**

Op basis van een nadere analyse van de gegenereerde duurlijnen is naar voren gekomen dat deze voor een gedeelte van het gebied niet plausibel zijn. Dit is vermoedelijk het gevolg van extrapolatie bij de gebruikte multiple regressiemethode.

**De regimecurve is sterk afgevlakt en heeft een geringe relatie in de tijd**

De regimecurve die is gegenereerd heeft betrekking op de daggemiddelde regimecurve. Deze curve is sterk afgevlakt en heeft een geringe relatie in de tijd. De daggemiddelde grondwaterregimecurve geeft echter statistisch gezien de beste schatting van een grondwaterstand voor een willekeurige dag.

**De GxG's berekend in stambuizen zijn gemiddeld droger dan de GxG's uit de detailkarteringen en resulteren derhalve in een numerieke verdroging**

Uit de analyse tussen de GxG informatie uit stambuizen en de GxG informatie uit detailkarteringen is gebleken, dat de GxG's berekend in stambuizen in het algemeen meer verdroging te zien geven dan de GxG's uit de detailkarteringen. Deze verschillen kunnen oplopen tot tientallen centimeters. De discrepantie tussen de buisgegevens en de detailkarteringsinformatie wordt waarschijnlijk voor het grootste deel veroorzaakt door het verschil in diepte waarop het freatisch vlak wordt gemeten in combinatie met geringe verticale doorlatendheden als gevolg van anisotropie in het bodemprofiel. Het kan hierbij gaan om het voorkomen van storende lagen zoals tertiaire klei, keileem of beekleem, maar ook om gelaagdheid in leemhoudende horizonten in de vorm van leembandjes.

***Stratificatie***

**De stratumgrootte is gegeven de punt dichtheid te klein.**

Indien men gebruik maakt van een punt dichtheid van 1 meetpunt per 100 ha dan is het raadzaam een minimale stratumgrootte van 6500 ha aan te houden. Op deze manier kan worden voldaan aan de vuistregels die gelden bij selectie van multiple regressiemodellen, waarbij gebruik wordt gemaakt van 15 potentiële verklarende variabelen. Bij het gebruik van strata met een oppervlakte van 6500 ha of meer is het echter de vraag of deze in alle gevallen als hydrologisch homogeen mogen worden verondersteld. Om te voldoen aan statistische vuistregels bij modelselectie is het van belang de grootte van het stratum in overeenstemming met de punt dichtheid te brengen teneinde stabiliteit bij de modelselectie te verkrijgen.

***Tijdreeksanalyse***

**Het geheel uitschakelen van het klimaat middels lineaire tijdreeksmodellen blijkt niet mogelijk te zijn.**

Uit een analyse waarbij gebruik is gemaakt van het voortschrijdend toepassen van tijdreeksanalyse, waarbij het calibratietijdvak van 8 jaar steeds een jaar opschuift, blijkt dat een klimaatrepresentatieve Gt moeilijk is te voorspellen met lineaire transfer-ruis tijdreeksmodellen. Bij het gebruik van tijdreeksen blijkt dat het klimaat niet geheel kan worden uitgeschakeld. De fluctuatie van de berekende klimaatrepresentatieve GHG en GLG als gevolg van het zelfde neerslagoverschot is niet heel groot, maar bedraagt al snel enkele centimeters.

**Er zijn vrijwel geen verschillen tussen de klimaatsrepresentatieve GxG en de GxG berekend op basis van metingen over tenminste 8 jaar.**

Uit de gevoeligheidsanalyse van de tijdreeksanalyse blijkt, dat de klimaatsrepresentatieve GxG weinig verschilt van de GxG op basis van metingen over een periode van tenminste 8 jaar. Dit betekent, dat beide gegevens naast elkaar gebruikt kunnen worden.

**De onzekerheid in de berekende GxG op basis van lineaire tijdreeksmodellen wordt onderschat.**

Uit een analyse waarbij gebruik is gemaakt van het voortschrijdend toepassen van tijdreeksanalyse, waarbij het calibratietijdvak van 8 jaar steeds een jaar opschuift,

blijkt dat de berekende onzekerheid in de Gt op basis van de tijdreeksanalyse is onderschat. De berekende standaarddeviatie is in de meeste gevallen 1 tot enkele centimeters (Finke, *et al.*, 2002; Hoogland *et al.*, 2004). Bij het bepalen van deze onzekerheid is er van uitgegaan dat het tijdreeksmodel bekend is. Uit het voortschrijdend toepassen van tijdreeksanalyse blijkt echter dat er ook onzekerheid is over de parameters van het gekalibreerde model. Het niet meenemen van deze modelonzekerheid in de parameters van het tijdreeksmodel geeft een onderschatting van de onzekerheid in de berekende GxG.

### **De calibratieperiode bij lineaire tijdreeksmodellering heeft invloed op de berekende verdroging.**

Vergelijking van ruimtelijke meteorologische verschillen ten opzichte van temporele verschillen geven aan dat temporele verschillen meer effect hebben op de berekende GxG dan ruimtelijke verschillen. De fluctuatie in droge en natte jaren komt immers over grotere gebieden voor. Lokale neerslagpieken die veelal in de zomer voorkomen hebben wellicht maar een gering effect op de langjarige Gt. Doordat temporele verschillen (tussen jaren) meer effect hebben op de berekende GxG dan ruimtelijke verschillen is berekening van de verdroging moeilijk te scheiden van klimaatseffecten.

### ***Stambuisregressie***

#### **Bij gebruik het van stambuisregressie is de keuze van het meettijdstip van de gerichte opname van grote invloed op uitkomsten van de GxG berekeningen.**

Metingen die dicht rond het respectievelijk GHG en GLG moment liggen hebben een sterkere relatie met de GxG dan metingen die sterk afwijken van de relatief natte en droge situatie. Een mogelijke verklaring is het feit dat de grondwaterstand bij meer extreme situaties zeer verschillend kan reageren op een neerslagimpuls. In nattere situaties kan er per locatie meer verschil in bijvoorbeeld de berging ontstaan. Op de ene locatie kan nog berging beschikbaar zijn, terwijl op een andere locatie de berging bijna geheel benut kan zijn. In dergelijke gevallen is het de vraag of het verstandig is aan te nemen dat alle punten aan dezelfde relatie voldoen, welke bepaald wordt door de doorsnede van de stambuizen. Om dit probleem te ondervangen is het van belang te meten in een relatief droge periode, tijdens de zogenaamde dalende tak van de grondwaterstand.

#### **Bij stambuisregressie vindt er vooral bij de GHG afvlakking plaats.**

Voor de voorspelling van de GHG vindt er afvlakking plaats. Natte GHG's worden droger en droge GHG's worden natter voorspeld. Voor de GLG is deze afvlakking klein. Een mogelijke verklaring voor deze afvlakking is wellicht de verdeling van de GHG, welke aan de bovenkant nabij maaiveld is begrensd en derhalve vaak niet normaal verdeeld is. Het verschil in overschrijdingsfrequentie van de GHG is mogelijk een verklaring voor het afvlakken van de voorspelde GxG. Natte Gt's hebben meestal minder bergingsmogelijkheden waardoor de grondwaterstandsfluctuatie veelal piekerig is. Dit heeft tot gevolg dat de duurlijn in het natte traject vaak relatief stijl verloopt, waardoor de overschrijdingsfrequentie van de GHG relatief gering is. Bij een droge Gt kan er veel meer geborgen worden, de grondwaterstand reageert traag en in het natte traject is de duurlijn relatief vlak. Dit heeft tot gevolg dat de overschrijdingsfrequentie van de GHG relatief groot is. Het

verschil in overschrijdingsfrequentie heeft tot gevolg dat er verschillen zijn in de kans dat een meetdag te nat of te droog is ten opzichte van de GHG.

### ***Maaiveldsregressie***

#### **Het aantal meetpunten per stratum is te gering.**

Indien gebruik gemaakt wordt van modelselectie bij multiple regressie is het voor het verkrijgen van een stabiel resultaat van belang over voldoende meetgegevens te beschikken. Het gemiddelde aantal meetpunten per stratum voldoet niet aan statistische vuistregels. Door het gebruik van groepen bij de modelselectie kan het minimum aantal gewenste meetpunten worden verkleint. Over de mate waarin het minimum aantal punten kan worden teruggebracht is echter nog weinig bekend.

#### **Maaiveldsregressie vakt de Gd-kaarten af.**

Bij het gebruik van regressie vindt er een afvlakking plaats die toeneemt naarmate het regressiemodel de variatie in de metingen maar ten dele kan verklaren. Ook bij het evalueren van de resultaten is naar voren gekomen dat de Gd-kaart is afgevlakt.

#### **Bij de Gd-kartering hangen de GxG patronen nauw samen met het gebruikte regressiemodel.**

Een gering aantal punten in relatie tot het grote aantal verklarende variabelen geeft stabiliteits problemen bij de modelkeuze van de maaiveldsregressie. De selectie-procedure is in hoge mate afhankelijk van de kwaliteit van de puntgegevens en het aantal puntgegevens. Onvolkomenheden in de puntgegevens kunnen er gemakkelijk toe leiden dat er verklarende variabelen worden geselecteerd die weliswaar ‘passen’ bij de puntgegevens maar het patroon van de Gt niet goed weergeven. In dit geval kan ook de berekende onzekerheid gemakkelijk worden onderschat.

### ***Interpolatie op basis van verwantschap***

#### **De interpolatietechniek op basis van verwantschap is een goede methode voor het gebiedsdekkend maken van puntinformatie uit detailkarteringen.**

Interpolatie op basis van verwantschap maakt het mogelijk om op een relatief eenvoudige, nauwkeurige en goedkope wijze gegevens lokaal te kunnen combineren. De methode is helder en eenvoudig waardoor deze nauw aansluit bij de gebruiker en de veldpraktijk. In de praktijk wordt bij detailkarteringen immers vaak gebruik gemaakt van een groot aantal ruimtelijke kenmerken die in het veld worden geïnterpreteerd. Deze kenmerken worden in tegenstelling tot een aantal andere interpolatietechnieken ook lokaal gebruikt bij de interpolatie op basis van verwantschap.

### ***Neerschaling actuele Gt***

#### **Neerschaling van de actuele GxG m.b.v. het AHN en informatie uit detailkarteringen is relatief eenvoudig en effectief.**

Door gebruik te maken van een frequentieverdeling voor de maaiveldhoogte en een frequentieverdeling voor de GxG binnen een Gt-vlak is het relatief eenvoudig de GxG met behulp van het AHN neer te schalen. Daarnaast blijven de patronen in het landschap grotendeels gehandhaafd.

### ***Validatie***

**De GxG-kaarten uit de Gd-methode blijken statistisch de beste kaarten te zijn, maar veel GxG-patronen in het landschap zijn niet terug te vinden op de kaart**

Op basis van een validatie, waarbij informatie uit detailkarteringen is gebruikt, komt de Gd-kaart er gemiddeld genomen het beste uit. Toch heeft deze kaart zoals eerder gezegd een aanzienlijke afvlakking tot gevolg. Daarnaast komen bekende patronen in het landschap, afhankelijk van het gebruikte regressiemodel soms niet meer voor op de Gd-kaart. De neergeschaalde actuele Gt-kaart kenmerkt zich door een relatief kleine afwijking en herkenbare Gt-patronen. Het Modflow model heeft gemiddeld genomen een grote afwijking. Vooral de GHG kan, in het gebied met keileem in de ondiepe ondergrond, met het model niet goed worden voorspeld. De GLG is daarentegen gemiddeld genomen iets te droog, maar de modelberekeningen geven de GLG patronen goed weer.



## Literatuur

- Amstel, A.R. van, L.C. Braat, A.C. Garritsen, C.R. van Gool, N. Gremmen, C.L.G. Groen, H.L.M. Rolf, J. Runhaar en J. Wiertz, 1989. *Verdroging van natuur en landschap in Nederland*. RIZA, Lelystad.
- Bannink, M.H., L.W. Dekker, J.M.H. Hendrickx en H.C. van Ommen, 1989. H2O 22(15)pag 436 t/m 459.
- Bierkens, M., M. Knotters en F. van Geer, 1999. Tijdreeksanalyse nu ook toepasbaar bij onregelmatige meetfrequenties. *Stromingen* 5(2): 43–54.
- Bierkens, M.F.P. and W.A. Bron, 2000. 3. *VIDENTE: a graphical user interface and decision support system for stochastic modelling of water table fluctuations at a single location; Includes documentation of the programs KALMAX, KALTFN, SSD and EMERALD and introductions to stochastic modelling*. Wageningen, ALTErrA, Green World Research. Alterra-rapport 118.
- Braat, L., A. van Amstel, A. Gerritsen, C. van Gool, N. Gremmen, C. Groen, H. Rolf, J. Runhaar en J. Wiertz, 1989. *Verdroging van natuur en landschap in Nederland. Beschrijving en analyse*. Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 's-Gravenhage.
- Bracht, M. van, 1988. *OLGA: On Line Grondwater Archief*. Delft, DGV-TNO, rapport PN88-11.
- Bruin de, H., 1987. Van Penman naar Makkink. In Hooghart, J. (red.): *Neerslag en Verdamping*. Den Haag, CHO-TNO, Mededeling 39.
- Burrough, P. A. en McDonnell, R. 1998 *Principles of Geographical Information Systems*. Oxford: Oxford University Press.
- Cate, J.A.M. ten, A.F. van Holst, H. Kleijer en J. Stolp. 1995. *Handleiding bodemgeografisch onderzoek; richtlijnen en voorschriften Deel B: Grondwater*. Technisch document 19B, DLO-Staring Centrum, Wageningen.
- Cohen, A., 1991. *Truncated and censored samples: theory and applications*. Dekker Inc., New York.
- Davis, J., 2002. *Statistics and data analysis in geology*. Wiley, New York, third edition.
- Dodewaard, E. van en Kiestra, E. 1990. *De bodemgesteldheid van de landinrichtingsgebieden Rijssen en Enter*. Wageningen, Staring Centrum. Rapport nr. 88.
- Domhof, J., J.C.F.M. Haans en M. Knibbe, 1965. Het meten van grondwaterstanden in gronden met slecht doorlatende lagen. Boor en Spade XIV, Wageningen



Finke, P.A., D.J. Groot Obbink en A.F. van Holst, 1994. *Methode voor de bepaling van de prioriteitsvolgorde van Gt-actualisatie*. DLO-Staring Centrum, Rapport 322, Wageningen.

Finke, P.A., D.J. Brus, T. Hoogland, J. Oude Voshaar, F. de Vries en D. Walvoort, 1999. *Actuele grondwaterinformatie schaal 1 : 10 000 in de Waterschappen Wold en Wieden en Meppelerdiep; Gebruik van digitale maaiveldhoogten bij de kartering van gemiddelde hoogste, laagste en voorjaars-grondwaterstanden*. DLO-Staring Centrum, Rapport 633, Wageningen.

Finke, P., M. Bierkens, D. Brus, J. van der Gaast, T. Hoogland, M. Knotters en F. de Vries. 2002. *Klimaatrepresentatieve grondwaterdynamiek in waterschap Mark en Weerij.*, Alterra, rapport 387, Wageningen.

Finke, P.A., D.J. Brus, M.F.P. Bierkens, T. Hoogland, M. Knotters en F. de Vries, 2004. Mapping groundwater dynamics using multiple sources of exhaustive high resolution data. *Geoderma* 123: 23 - 39.

Finke, P.A., D.J. Brus, M.F.P. Bierkens, T. Hoogland, M. Knotters en F. de Vries, 2005. Kartering van de grondwaterdynamiek met behulp van geo-informatie van hoge resolutie. *Stromingen* 11(1): 27-41.

Gaast, J.W.J. van der en H. Th. L. Massop, 2003. *Karakterisering van de freatische grondwaterstand in Nederland; Bepaling van de GxG en xG3 voor 1995 op puntlocaties*. Alterra-rapport 819, ISSN 1566-7197. Alterra, Wageningen.

Gaast, J.W.J. van der en H. Th. L. Massop, 2005a. De verdroging in beeld met historische en actuele grondwatertrappen op basis van karteerbare kenmerken; in: *H<sub>2</sub>O*, nr14/15, pag43-46.

Gaast, J.W.J. van der en H. Th. L. Massop, 2005b. Het grondwaterregime als basis voor de grondwatertrap; in: *H<sub>2</sub>O*, nr22, pag36-38.

Gaast, J.W.J. van der en H. Th. L. Massop, 2005c. Hoe nauwkeurig is de grondwatertrap op buislocaties te bepalen? *Stromingen* 11(4): 5-17.

Gaast, J.W.J. van der, H. Th. L. Massop en G.B.M. Heuvelink, 2005. *Monitoring van verdroging; Methodische aspecten van meetnetoptimalisatie*. Alterra-rapport 1102, ISSN 1566-7197. Alterra, Wageningen.

Gaast, J.W.J. van der en H. Th. L. Massop, in voorbereiding. *Grondwatergestuurd peilbeheer; Peilwijzer*. Alterra-rapport in voorbereiding.

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

Groot Obbink, D., A. van Nijf en E. Kiestra. 1989. Bodemgesteldheid van het landinrichtingsgebied Saasveld – Gammelke. Wageningen. DLO-Staring Centrum. Rapport 20/113

Hooghoudt, S.B. 1952. *Waarnemingen van grondwaterstanden voor de landbouw*. CHO-TNO, Verslag technische bijeenkomsten 1-6, 's-Gravenhage.

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

Heesen, H. van en G. Westerveld 1966. Karakterisering van het grondwaterstandsverloop op de bodemkaart. *Cultuurtechnisch tijdschrift*, jaargang 5.

Heesen, H. van, 1971. De weergave van het grondwaterstandsverloop op bodemkaarten. *Boor en Spade* 17, p. 127 – 149. Wageningen, Stichting voor bodemkartering.

Kekem, A.J. van, T. Hoogland en J.B.F. van der Horst. 2004. *Uitspoelingsgevoelige gronden op de kaart; werkwijze en resultaten*. Wageningen, Alterra, Alterra-1080

Kleijer, H. 1995. *Bodemgesteldheid van het herinrichtingsgebied Losser Noord. Resultaten van een bodemgeografisch onderzoek*. Wageningen. DLO-Staring Centrum. Rapport 400.

Knibbe M. en B. Marsman, 1961. *Grondwatertrappenindeling in Overijsselse zandgronden*. Voorlopige wetenschappelijke mededelingen (no 16). Wageningen, Stichting voor Bodemkartering.

Knibbe, M., 1969. *Gleygronden in het dekzandgebied van Salland*. Proefschrift, Centrum voor Landbouwpublicaties en Landbouwdocumentatie, Wageningen.

Knotters, M. en P. van Walsum (1994). *Uitschakeling van weersinvloeden bij de karakterisering van het grondwaterstandsverloop*. Wageningen. DLO-Staring Centrum. Rapport 350.

Knotters, M. en M.F.P. Bierkens, 1999. *Tijdreeksmodellen van de grondwaterstand. Een kijkje in de black box*. Stromingen 5, 3: 35-50.

Knotters, M., 2001. *Regionalised time series models for water table depths*. Proefschrift, Wageningen Universiteit.

Mallows, C.L., 1966. *Choosing a Subset Regression*. Joint Statistical Meetings, Los Angeles, CA.

Montgomery, D.C. and E.A. Peck, 1992. *Introduction to Linear Regression Analysis*. John Wiley and sons inc, New York.

NITG-TNO, 2004. *Grondwatermodel en IR-database ter ondersteuning van het waterbeheer in Twente*, NITG-TNO, Utrecht..

Oude Voshaar, J.H., 1994. *Statistiek voor onderzoekers. Met voorbeelden uit de landbouw- en natuurwetenschappen*. Wageningen pers.

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

Pebesma, E. en C. Wesseling, 1998. Gstat, a program for geostatistical modelling, prediction and simulation. *Computers and Geosciences* 24(1): 17-31; <http://www.gstat.org>.

Projectgroep Waternood, 1998. *Grondwater als leidraad voor het oppervlaktewater*. DLG publicatie 98/2. Dienst Landelijk Gebied en Unie van Waterschappen. Utrecht, Den Haag

Richards, L.A., editor, 1954. *Diagnosis and improvement of Saline and Alkaline soils*. Agriculture Handbook no. 60, Washington.

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

Riele, W.J.M. te en D. Brus, 1992. *Het gebruik van fysisch-geografische voorinformatie bij de ruimtelijke voorspelling van grondwaterstanden en grondwaterkarakteristieken (GHG en GLG)*. Wageningen, DLO-Staring Centrum, rapport 209.

Riele, W.J.M. te, E.P. Querner, M. Knotters en A.B. Pomper, 1995. *Geostatistische interpolatie van grondwaterstandsdiepten met behulp van fysisch-geografische informatie en de resultaten van een regionaal stromingsmodel*. Wageningen, DLO-Staring Centrum, rapport 414.

Rutten, G. en H.J.M. Zegers 1968. De bodemgesteldheid van het ruilverkavelingsgebied Daarle-Hellendoorn. Stibokarapport 714, STIBOKA, Wageningen.

Rutten, G., H., Kleijer, J.A.M. ten Cate. 1994. *Bodemgesteldheid herinrichtingsgebied Enschede Noord*. Wageningen. DLO-Staring Centrum. Rapport 329.

Rutten, G..1991. *Bodemgesteldheid van het herinrichtingsgebied Enschede Zuid*. Wageningen. DLO-Staring Centrum. Rapport 148.

Sluijs, P. van der, 1982. De grondwatertrap als karakteristiek van het grondwaterstandsverloop. *H<sub>2</sub>O* 15: 42-46.

Sluijs, P. van der en Th. van Egmond, 1976a. De grondwatertrap op de bodemkaart van Nederland (schaal 1 : 50 000) *Polytechn. Tijdschrift, editie Bouwkunde wegen- en waterbouw* 31 (10): 628 – 633.

Sluijs, P. van der en Th. van Egmond, 1976b. *Facetten van grondwatertrappen in zandgronden*. Rapport nr. 1329, Stiboka, Wageningen.

Sluijs, P. van der en H. van Heesen, 1989. Veranderingen in de berekening van de GHG en de GLG. *Landinrichting* 1989/29: 18-21.

Sluijs, P. van der, 1990. Hoofdstuk 11: Grondwatertrappen. In: Locher, W.P. en H. de Bakker (red.) *Bodemkunde van Nederland deel 1: Algemene bodemkunde*. Malmberg, Den Bosch.

Steur, G.G.L. en G.J.W. Westerveld, 1965. Bodemkaart en kaartschaal. *Cultuurtechnisch Tijdschrift* 5, 2, 55-74.

Steur, G.G.L. en W. Heijink, 1991. *Bodemkaart van Nederland, schaal 1 : 50 000. Algemene begrippen en indelingen*. Wageningen. DLO-Staring Centrum.

Stoffelsen, G. H., 1989. *Bodemkundig-hydrologisch onderzoek in het waterwingebied Hengelo-Hasselo*. Rapport 4, Staring Centrum, Wageningen.

Stoffelsen, G. H. en H.R.J. Vroon.1998. *Bodemgesteldheid van het berinrichtingsgebied Losser Noord*. Wageningen. DLO-Staring Centrum. Rapport 551.

Stoffelsen, G. H. 1999. *Bodemgesteldheid van het waterwingebied Markelo – Goor*. Wageningen. Wageningen. Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte. Alterra-rapport 628.

Stol, Ph., 1958. De waterhuishouding van de landbouwgronden, p. 7 – 274. In: Stol, Ph. en B. Vrijhof. *De landbouwwaterhuishouding in de provincie Zuid-Holland*. Rapport 9, Commissie onderzoek landbouwwaterhuishouding Nederland – T.N.O.

Stol, Ph., 1960. Grondwaterstanden onder verschillende klimatologische omstandigheden. *Overdruk uit het Landbouwkundig tijdschrift* 72<sup>ste</sup> jaargang no. 18.

Vereniging voor Landinrichting, 2000. *Cultuurtechnisch Vademecum*, Elsevier, Doetinchem.

Werff van der, M.M. en F. Brouwer. 1997. *Bodemgesteldheid van het landinrichtingsgebied Diepenheim*. Wageningen. DLO-Staring Centrum. Rapport 463.

### **Niet gepubliceerde bronnen**

Finke, P.A., T. Hoogland, M.F.P. Bierkens, D.J. Brus en F. de Vries, 1999. *Pilot naar grondwaterkaarten in het Weerijdsgebied*. Wageningen, Alterra, intern rapport.

Hoogland, T. en R. Visschers, 2000. *Actualiteitsbeoordeling Gt-kaarten Waterschap Regge en Dinkel*. Alterra, Wageningen.



## Bijlage 1 Stambuisgegevens

|             |        |        |          |      |          |      |          | $\delta_1$ | $\omega_0$ | $\phi_1$ |          |          |          |
|-------------|--------|--------|----------|------|----------|------|----------|------------|------------|----------|----------|----------|----------|
| BUISNUMMERX | Y      | GHG    | SDGHG*   | GVG  | SDGVG*   | GLG  | SDGLG*   | v1         | v2         | v4       | c        | v6       |          |
| 28AL0024    | 224110 | 495570 | 108.1725 | 3.3  | 130.9142 | 3.57 | 178.2304 | 3.45       | 0.988695   | 2.35226  | 0.989749 | -159.055 | 10.37773 |
| 28AL0084    | 225305 | 495960 | 58.70296 | 3.07 | 79.97203 | 3.39 | 130.2542 | 3.23       | 0.99147    | 2.309378 | 0.988367 | -114.355 | 10.94895 |
| 22CL0064    | 225840 | 502540 | 153.8985 | 5.15 | 176.5959 | 5.2  | 250.1996 | 5.34       | 0.994918   | 3.489369 | 0.994282 | -249.161 | 9.39303  |
| 28AL0078    | 226030 | 497730 | 160.0937 | 3.3  | 185.2309 | 3.5  | 250.0901 | 3.48       | 0.988804   | 3.716768 | 0.989463 | -229.678 | 10.3365  |
| 28AL0080    | 226610 | 497785 | 43.7348  | 3.52 | 77.1590  | 3.88 | 112.1243 | 3.79       | 0.928421   | 5.60259  | 0.990797 | -85.2895 | 10.62919 |
| 28AL0059    | 227030 | 498350 | -4.80484 | 1.2  | 19.54539 | 1.58 | 56.425   | 1.23       | 0.970735   | 3.571291 | 0.914565 | -34.0306 | 28.61592 |
| 28AP0118    | 227260 | 497040 | 71.5307  | 2.15 | 114.9178 | 2.64 | 184.0096 | 2.17       | 0.972806   | 6.597396 | 0.927323 | -145.043 | 65.31581 |
| 28AL0049    | 227530 | 491090 | 115.9114 | 3.37 | 146.2747 | 3.81 | 219.5822 | 3.57       | 0.988147   | 4.146584 | 0.984273 | -193.344 | 19.79929 |
| 28AL0033    | 227700 | 490480 | 80.2885  | 2.36 | 111.4123 | 2.93 | 157.6362 | 2.54       | 0.973106   | 3.9419   | 0.976313 | -129.904 | 18.93484 |
| 22CL0074    | 227910 | 500990 | 109.0251 | 3.8  | 130.1408 | 3.88 | 204.1066 | 3.98       | 0.994162   | 3.723051 | 0.992815 | -199.9   | 7.48335  |
| 28CP0054    | 228260 | 480170 | 179.2512 | 3.1  | 194.51   | 3.09 | 241.4681 | 3.24       | 0.995006   | 2.271429 | 0.993398 | -244.479 | 4.18202  |
| 28CP0196    | 228400 | 482863 | 94.4159  | 5.39 | 114.7769 | 5.3  | 175.5008 | 5.42       | 0.991151   | 3.292397 | 0.996173 | -163.973 | 4.88037  |
| 28CP0254    | 228520 | 481200 | 126.3068 | 3.41 | 154.3332 | 3.71 | 214.4537 | 3.6        | 0.986063   | 3.625506 | 0.988274 | -190.013 | 13.23991 |
| 28CP0189    | 228530 | 484800 | 196.2552 | 4.22 | 222.4926 | 4.56 | 291.0690 | 4.41       | 0.994155   | 2.922074 | 0.98921  | -279.41  | 18.02937 |
| 28CP0017    | 228780 | 479800 | 127.4029 | 3.23 | 158.6212 | 3.57 | 219.4781 | 3.57       | 0.983773   | 4.257192 | 0.986432 | -193.852 | 14.64916 |
| 28CP0192    | 228900 | 483630 | 130.9040 | 2.21 | 163.3308 | 2.46 | 215.9683 | 2.36       | 0.972822   | 5.3525   | 0.980484 | -187.97  | 10.62779 |
| 28AL0007    | 228900 | 496360 | 59.1912  | 2.32 | 99.3163  | 2.76 | 147.8875 | 2.52       | 0.944897   | 8.644973 | 0.977656 | -114.918 | 15.60518 |
| 28CL0021    | 229040 | 477960 | 122.156  | 2.86 | 144.373  | 2.98 | 207.623  | 3.11       | 0.990562   | 3.697586 | 0.989863 | -194.618 | 7.13846  |
| 28AP7807    | 229175 | 499500 | 31.2850  | 3.25 | 69.3705  | 3.7  | 113.3889 | 3.55       | 0.946112   | 6.764079 | 0.987342 | -82.2505 | 14.476   |
| 28CL0075    | 229430 | 482920 | 90.913   | 1.12 | 111.428  | 1.51 | 132.753  | 1.25       | 0.901095   | 4.618085 | 0.96575  | -115.764 | 7.98225  |
| 28CL0014    | 229740 | 477610 | 139.344  | 5.54 | 170.270  | 5.73 | 248.777  | 5.85       | 0.993129   | 3.754317 | 0.99204  | -235.822 | 18.97903 |
| 28CL0056    | 229800 | 479920 | 70.48419 | 1.99 | 111.2996 | 2.32 | 171.4615 | 2.25       | 0.968706   | 7.293585 | 0.963613 | -138.222 | 20.31008 |
| 28AL0004    | 229850 | 497440 | 77.9154  | 2.65 | 123.9528 | 3.18 | 186.4944 | 2.82       | 0.959714   | 8.593387 | 0.971803 | -147.062 | 27.59573 |
| 28AP7805    | 229890 | 499700 | 45.2383  | 2.53 | 85.7647  | 2.92 | 146.9808 | 2.67       | 0.967532   | 7.251102 | 0.976161 | -111.616 | 18.91847 |
| 28AP7806    | 229915 | 499915 | -3.1555  | 2.84 | 34.8658  | 3.25 | 95.6576  | 3          | 0.972239   | 6.204614 | 0.981214 | -62.0303 | 17.6948  |
| 28DP0150    | 230200 | 482760 | 44.1453  | 2.75 | 89.1834  | 3.31 | 168.6902 | 2.86       | 0.977289   | 6.73466  | 0.960257 | -127.705 | 46.52136 |
| 28BL0063    | 230580 | 491420 | 103.7934 | 5.1  | 145.2636 | 5.43 | 224.9989 | 5.37       | 0.983359   | 5.287422 | 0.989686 | -188.987 | 24.15553 |
| 28DL0050    | 230780 | 477570 | 113.107  | 2.65 | 146.571  | 3.23 | 194.010  | 2.99       | 0.972645   | 4.352041 | 0.980835 | -166.018 | 17.87473 |
| 28BP0056    | 231220 | 494460 | 53.8739  | 3.12 | 101.8275 | 3.65 | 170.5701 | 3.3        | 0.964945   | 8.447101 | 0.977593 | -129.146 | 27.41533 |
| 28DL0065    | 232180 | 485260 | 59.1032  | 6.39 | 102.9844 | 6.62 | 211.1050 | 6.69       | 0.988158   | 6.336542 | 0.991531 | -175.416 | 27.61428 |
| 28DL0075    | 232400 | 483750 | 73.9082  | 4.15 | 109.3475 | 4.6  | 199.9258 | 4.39       | 0.988945   | 5.067281 | 0.985885 | -170.411 | 25.45918 |
| 28DL0064    | 232620 | 486350 | 105.8791 | 7.7  | 162.9842 | 7.91 | 235.6977 | 7.93       | 0.967587   | 6.926306 | 0.992739 | -189.742 | 31.57281 |
| 28DL0085    | 232880 | 482610 | 79.76295 | 1.85 | 108.9974 | 2.29 | 145.9893 | 2.02       | 0.957098   | 4.807552 | 0.974497 | -121.327 | 12.64147 |
| 28DL0068    | 232930 | 485350 | 73.8240  | 3.74 | 112.5700 | 4.21 | 196.7948 | 3.98       | 0.984606   | 5.566292 | 0.983584 | -161.959 | 25.43052 |
| 28DL0025    | 234390 | 477740 | 161.974  | 2.33 | 186.543  | 2.62 | 245.359  | 2.58       | 0.987211   | 3.799407 | 0.982769 | -226.14  | 10.41208 |

|             |        |        |          |       |          |       |          | $\delta_1$ | $\omega_0$ | $\phi_1$ | $\sigma^2$ |          |          |
|-------------|--------|--------|----------|-------|----------|-------|----------|------------|------------|----------|------------|----------|----------|
| BUISNUMMERX | Y      | GHG    | SDGHG*   | GVG   | SDGVG*   | GLG   | SDGLG*   | v1         | v2         | v4       | c          | v6       |          |
| 28DL0026    | 234480 | 476120 | 127.7176 | 1.74  | 162.7957 | 2.13  | 206.8716 | 2          | 0.957249   | 6.539616 | 0.964244   | -178.781 | 16.7243  |
| 34BP0057    | 234740 | 472840 | 206.6942 | 10.57 | 236.3397 | 10.33 | 318.9711 | 10.71      | 0.997055   | 3.517749 | 0.996535   | -352.703 | 15.50049 |
| 28DP0114    | 236300 | 484730 | 2.3271   | 48.77 | 40.8553  | 48.55 | 130.9597 | 49.15      | 0.994515   | 3.710409 | 0.999214   | -141.725 | 21.12518 |
| 28BL0051    | 236620 | 496140 | 132.455  | 1.61  | 159.708  | 2.09  | 190.786  | 1.79       | 0.935759   | 5.458671 | 0.972001   | -167.877 | 11.80276 |
| 28DL0022    | 236660 | 478100 | 138.6629 | 2.26  | 169.9042 | 2.58  | 229.7094 | 2.56       | 0.980656   | 4.984706 | 0.979051   | -203.637 | 12.68183 |
| 28DL0044    | 237250 | 482440 | 149.3855 | 1.6   | 184.8925 | 2.05  | 228.6048 | 1.82       | 0.955667   | 6.362187 | 0.941195   | -199.674 | 29.90503 |
| 28DL0084    | 237320 | 483630 | 149.7031 | 1.9   | 188.4954 | 2.37  | 234.6544 | 2.08       | 0.943042   | 8.182707 | 0.963758   | -203.801 | 21.08604 |
| 28DP7007    | 237545 | 481990 | -7.72373 | 1.04  | 9.6508   | 1.29  | 31.97052 | 1.14       | 0.958018   | 2.945421 | 0.970595   | -17.7487 | 4.81136  |
| 28DL0024    | 237560 | 478310 | 99.343   | 1.19  | 129.762  | 1.59  | 162.737  | 1.33       | 0.914786   | 7.757698 | 0.935825   | -138.762 | 20.19394 |
| 28DL0071    | 238430 | 485120 | 114.2480 | 1.52  | 149.2487 | 1.9   | 190.3963 | 1.65       | 0.939206   | 7.784898 | 0.952239   | -162.657 | 19.61545 |
| 28BP0057    | 239350 | 492900 | 54.415   | 1.44  | 80.980   | 1.77  | 117.924  | 1.52       | 0.962174   | 4.728536 | 0.961786   | -94.746  | 12.68456 |
| 28DL0018    | 239670 | 475430 | 82.909   | 1.67  | 111.924  | 2.1   | 154.089  | 1.88       | 0.971126   | 4.300191 | 0.960245   | -129.616 | 18.76785 |
| 34EL0003    | 240800 | 469300 | 69.2256  | 1.58  | 103.9770 | 2.09  | 148.2198 | 1.79       | 0.960847   | 5.597172 | 0.929109   | -119.316 | 39.62785 |
| 34EL0021    | 241070 | 464790 | 51.4822  | 1.86  | 86.5872  | 2.17  | 140.3465 | 2.09       | 0.967392   | 6.812028 | 0.969375   | -108.291 | 14.23177 |
| 34EL0001    | 242450 | 472410 | 76.1047  | 2.48  | 109.6530 | 3.09  | 174.8373 | 2.65       | 0.982343   | 4.400579 | 0.962535   | -143.68  | 37.57961 |
| 28GL0063    | 245760 | 486780 | 89.44369 | 4.33  | 134.0457 | 4.69  | 196.1401 | 4.62       | 0.969058   | 6.486135 | 0.988926   | -160.81  | 19.70451 |
| 34EL0019    | 246450 | 466450 | 31.0443  | 2.02  | 60.6165  | 2.41  | 121.6485 | 2.17       | 0.9823     | 4.699935 | 0.962705   | -92.4646 | 22.62818 |
| 34EL0005    | 248500 | 468200 | 79.4628  | 2.98  | 113.6366 | 3.18  | 165.0639 | 3.2        | 0.969234   | 5.699714 | 0.987819   | -136.686 | 10.16851 |
| 28GL0068    | 249520 | 485750 | 57.7417  | 10.17 | 94.8480  | 9.95  | 158.7783 | 10.11      | 0.986802   | 3.338577 | 0.996121   | -130.874 | 17.64952 |
| 28EL0011    | 249560 | 494610 | 80.27545 | 2.18  | 120.1731 | 2.58  | 180.9142 | 2.32       | 0.970114   | 6.719836 | 0.961569   | -145.96  | 27.12517 |
| 34EL0015    | 249610 | 470960 | 68.5210  | 3.19  | 101.6485 | 3.66  | 189.2615 | 3.42       | 0.987993   | 5.266448 | 0.9784     | -160.971 | 26.38659 |
| 34EL0017    | 249760 | 467750 | 63.33775 | 2.81  | 94.32172 | 3.09  | 189.248  | 3.02       | 0.98882    | 5.857707 | 0.980128   | -164.368 | 17.12271 |
| 28FP0016    | 250800 | 497380 | 155.2534 | 5.82  | 188.3987 | 5.96  | 278.1012 | 5.82       | 0.994218   | 4.157062 | 0.990587   | -264.096 | 25.81414 |
| 28HL0025    | 250950 | 483160 | 37.8553  | 2.65  | 84.0229  | 3.46  | 139.4245 | 2.99       | 0.950484   | 7.923266 | 0.964859   | -100.558 | 43.25712 |
| 28FL0030    | 251100 | 496660 | 99.50933 | 4.4   | 124.7876 | 4.22  | 214.2864 | 4.25       | 0.994336   | 4.679751 | 0.991728   | -210.78  | 10.85123 |
| 28HL0002    | 251530 | 486320 | 74.663   | 3.17  | 116.891  | 3.73  | 199.802  | 3.37       | 0.981764   | 6.317293 | 0.972072   | -162.248 | 37.56215 |
| 28FP0029    | 251780 | 497310 | 220.4035 | 6.49  | 248.2785 | 6.39  | 325.8311 | 6.44       | 0.996654   | 3.373111 | 0.993682   | -336.899 | 16.68665 |
| 28FL0021    | 252700 | 496180 | 122.3952 | 5.45  | 149.076  | 5.37  | 227.2859 | 5.41       | 0.993463   | 3.931855 | 0.993158   | -215.382 | 13.32452 |
| 34FL0015    | 253320 | 466130 | 31.11792 | 2.43  | 65.81505 | 2.77  | 136.8432 | 2.46       | 0.981159   | 5.702938 | 0.969416   | -105.077 | 23.27167 |
| 28HL0069    | 253600 | 482700 | 73.9979  | 4.35  | 123.9031 | 4.99  | 236.3763 | 4.59       | 0.985366   | 7.634169 | 0.977975   | -193.006 | 50.21243 |
| 28FL0130    | 254700 | 488380 | 89.36047 | 2.68  | 122.0572 | 3.07  | 165.2788 | 2.92       | 0.964597   | 5.001926 | 0.984288   | -138.235 | 12.86004 |
| 28HL0218    | 254990 | 485130 | 104.3934 | 3.51  | 140.2595 | 3.9   | 218.4721 | 3.7        | 0.985019   | 5.3421   | 0.983355   | -187.63  | 22.14123 |
| 28HL0077    | 255675 | 476450 | 48.9963  | 2.92  | 89.0329  | 3.66  | 158.2114 | 3.11       | 0.977593   | 5.37963  | 0.965864   | -120.178 | 46.6849  |
| 28HL0046    | 256180 | 484320 | 66.5565  | 3.88  | 113.0652 | 4.52  | 214.0696 | 4.1        | 0.984733   | 6.927955 | 0.975152   | -173.146 | 47.75549 |
| 34FL0162    | 257250 | 465950 | 81.21942 | 5.25  | 119.5036 | 5.47  | 234.6258 | 5.31       | 0.990784   | 6.510967 | 0.98832    | -207.522 | 28.6249  |
| 34FL0113    | 257505 | 474140 | 76.54451 | 3.3   | 114.0068 | 3.85  | 206.7807 | 3.46       | 0.986093   | 5.974753 | 0.973408   | -171.168 | 37.65075 |
| 34FL0111    | 258700 | 474530 | 26.75969 | 4.66  | 67.35477 | 5.22  | 140.7068 | 4.89       | 0.981795   | 4.843677 | 0.986643   | -103.226 | 30.61415 |
| 28FP7017    | 258780 | 488660 | 62.9427  | 5.02  | 110.4847 | 5.51  | 194.1437 | 5.32       | 0.980868   | 6.22016  | 0.986678   | -153.299 | 34.11331 |
| 28FP7003    | 258875 | 489400 | -0.39797 | 1.52  | 25.02455 | 2.01  | 63.06283 | 1.63       | 0.974405   | 3.144238 | 0.947643   | -40.1427 | 24.82876 |

|             |        |        |          |      |          |      |          |       | $\delta_1$ | $\omega_0$ | $\phi_1$ | $\sigma^2$ |          |
|-------------|--------|--------|----------|------|----------|------|----------|-------|------------|------------|----------|------------|----------|
| BUISNUMMERX | Y      | GHG    | SDGHG*   | GVG  | SDGVG*   | GLG  | SDGLG*   | v1    | v2         | v4         | c        | v6         |          |
| 28FL0125    | 259530 | 491660 | 54.6670  | 2.86 | 94.0587  | 3.4  | 164.7646 | 3.05  | 0.979205   | 5.781998   | 0.971508 | -129.838   | 31.98118 |
| 35AL0007    | 260830 | 466810 | 15.71589 | 3.49 | 61.80766 | 4.12 | 145.4741 | 3.56  | 0.979255   | 6.710898   | 0.971754 | -103.317   | 46.53485 |
| 29AP7020    | 261090 | 489520 | 29.65454 | 1.64 | 58.34494 | 2.1  | 95.10324 | 1.8   | 0.960009   | 4.594414   | 0.96397  | -70.6779   | 16.50947 |
| 29AL0038    | 261100 | 489030 | 36.4264  | 3.49 | 81.9635  | 3.98 | 171.8377 | 3.66  | 0.980774   | 7.162645   | 0.97721  | -130.82    | 33.29993 |
| 35AL0004    | 261750 | 472720 | 45.48663 | 2.77 | 102.7558 | 3.62 | 196.5732 | 2.76  | 0.975134   | 8.34515    | 0.884402 | -144.06    | 209.7488 |
| 35AL0026    | 261980 | 468360 | 61.67199 | 2.01 | 92.61938 | 2.25 | 158.5202 | 2.03  | 0.981358   | 5.412312   | 0.968536 | -130.281   | 15.91132 |
| 29AL0030    | 262650 | 493750 | 90.7728  | 2.86 | 135.8446 | 3.42 | 208.1914 | 3.03  | 0.973766   | 7.002352   | 0.968534 | -168.542   | 36.62866 |
| 29CP7803    | 262905 | 479930 | 7.18     | 7.27 | 83.13    | 9.22 | 214.76   | 7.62* | *          | *          | *        | *          | *        |
| 29AL0024    | 263050 | 496650 | 116.4710 | 2.9  | 156.5363 | 3.3  | 226.1747 | 3.05  | 0.976668   | 6.339945   | 0.977562 | -190.913   | 22.44703 |
| 35AL0025    | 263120 | 472180 | 45.35896 | 2.18 | 76.79793 | 2.49 | 150.6449 | 2.19  | 0.984376   | 5.34716    | 0.963982 | -121.715   | 23.17713 |
| 29CP0075    | 264010 | 475460 | 141.1302 | 6.8  | 163.0089 | 6.7  | 226.1063 | 6.86  | 0.995298   | 2.765993   | 0.99562  | -225.205   | 9.93634  |
| 29AL0027    | 264190 | 488680 | 61.46329 | 2.26 | 93.87876 | 2.48 | 157.9127 | 2.4   | 0.979466   | 5.598703   | 0.979928 | -129.225   | 11.08704 |
| 29CL0031    | 264980 | 477980 | 36.96668 | 2.44 | 70.94532 | 2.87 | 129.8474 | 2.6   | 0.97486    | 5.448426   | 0.973175 | -98.447    | 21.18181 |
| 29CL0028    | 266300 | 484800 | 79.1803  | 3.05 | 107.3622 | 3.42 | 163.6013 | 3.19  | 0.984363   | 3.594347   | 0.984759 | -138.279   | 15.35693 |
| 29CL0023    | 266650 | 483490 | 124.2079 | 2.62 | 170.7303 | 3.11 | 245.8323 | 2.75  | 0.973145   | 7.592395   | 0.960687 | -205.042   | 40.49618 |
| 29CL0021    | 267000 | 486720 | 99.036   | 1.86 | 126.593  | 2.28 | 164.618  | 2     | 0.967051   | 4.104017   | 0.973641 | -140.905   | 13.03465 |
| 29AP0072    | 268120 | 488210 | 70.004   | 1.84 | 98.839   | 2.2  | 133.542  | 2.02  | 0.951942   | 5.296888   | 0.979058 | -110.081   | 9.24598  |
| 29CL0019    | 268190 | 487310 | 77.0400  | 1.94 | 106.8315 | 2.36 | 147.4718 | 2.09  | 0.965445   | 4.6669     | 0.973612 | -122.096   | 14.01984 |
| 28BL0053    | 239200 | 494120 | 48.229   | 2.02 | 83.423   | 2.45 | 134.196  | 2.13  | 0.965134   | 6.130496   | 0.966205 | -103.296   | 20.56846 |
| 29CL0003    | 268500 | 485930 | 76.857   | 2.92 | 114.498  | 3.2  | 194.840  | 3.09  | 0.981936   | 6.381576   | 0.981209 | -161.177   | 17.20059 |
|             |        |        |          |      |          |      |          |       |            |            |          |            |          |

\*SDGxG = De berekende voorspelfouten van de GxG in grondwaterstandsbuizen worden in het algemeen onderschat





## Bijlage 2 Relaties meetdata

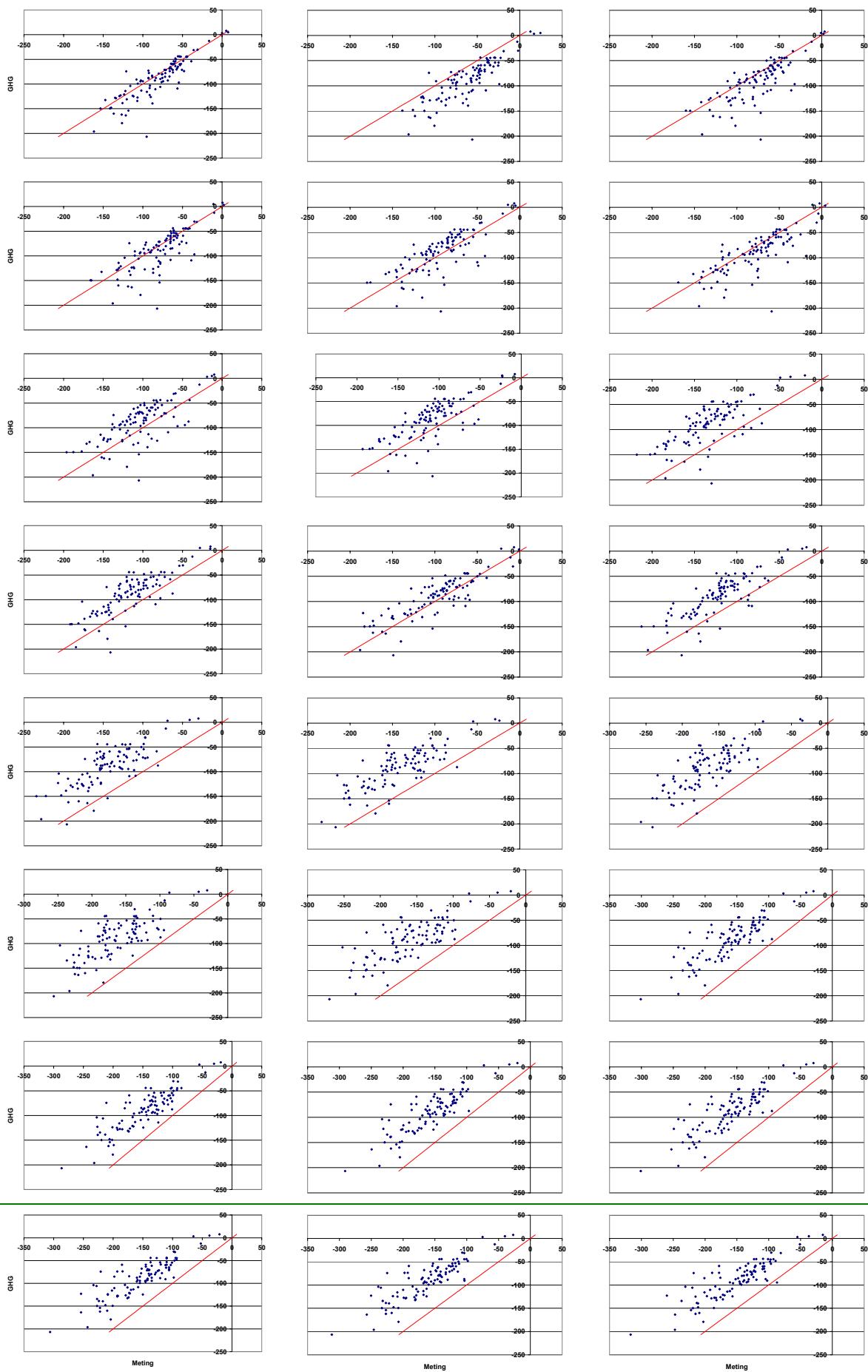
In de volgende figuren zijn de relaties tussen meetdata en GHG, GLG, HG3 en LG3 weergegeven. De meetdata zijn opgezet conform de onderstaande tabel. De figuren geven de relatie weer tussen de grondwaterstand op de 14<sup>e</sup> of 28<sup>e</sup> van de maand voor het jaar 1995 en de GxG en xG3 voor 99 stambuislocaties die gelegen zijn in het centrale deel van Overijssel.

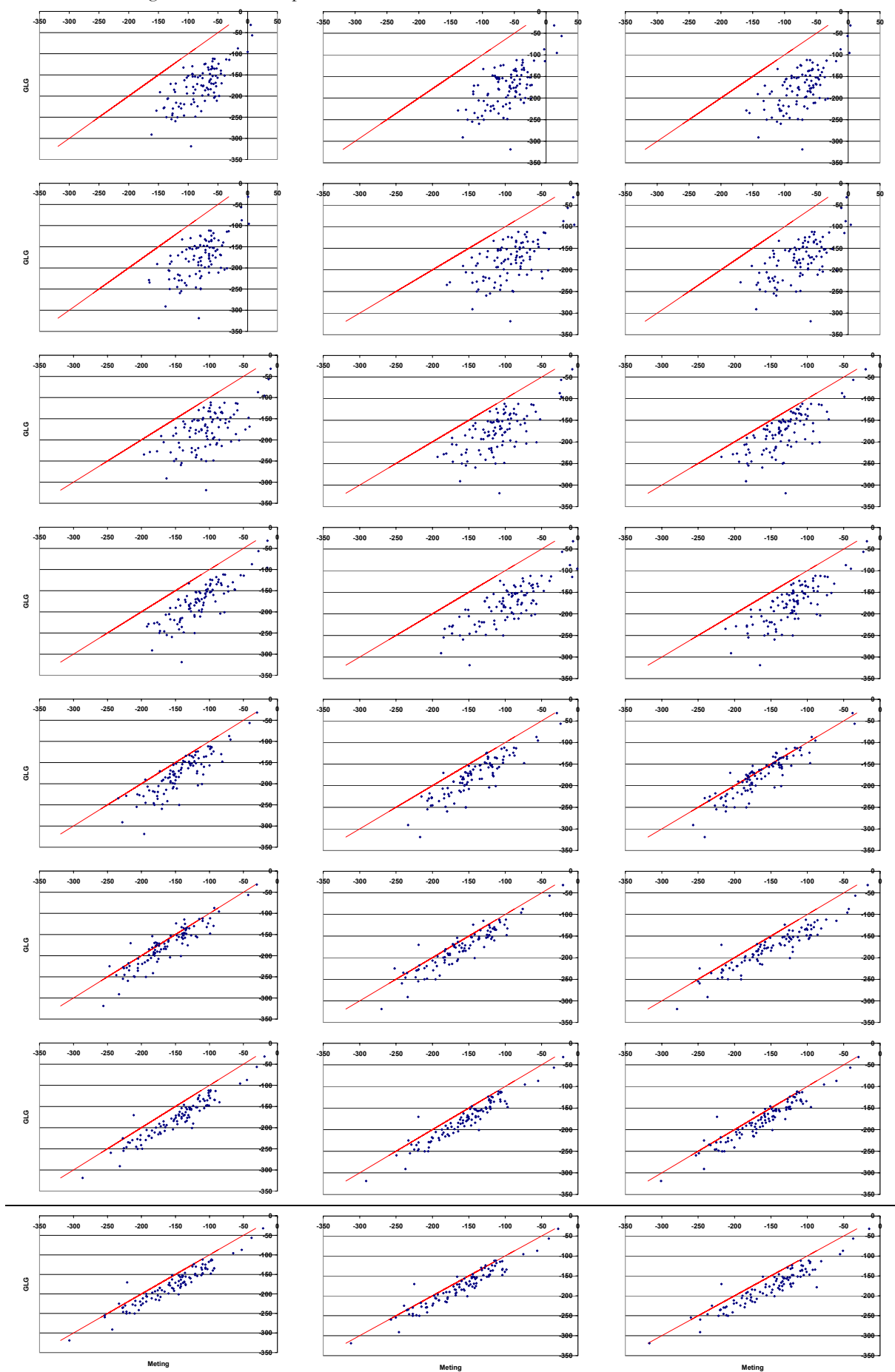
In de onderstaande tabel is een overzicht gegeven van de data. De opzet van de tabel komt overeen met de opzet van de figuren.

|                  |                   |                   |
|------------------|-------------------|-------------------|
| 14 januari 1995  | 28 januari 1995   | 14 februari 1995  |
| 28 februari 1995 | 14 maart 1995     | 28 maart 1995     |
| 14 april 1995    | 28 april 1995     | 14 mei 1995       |
| 28 mei 1995      | 14 juni 1995      | 28 juni 1995      |
| 14 juli 1995     | 28 juli 1995      | 14 augustus 1995  |
| 28 augustus 1995 | 14 september 1995 | 28 september 1995 |
| 14 oktober 1995  | 28 oktober 1995   | 14 november 1995  |
| 28 november 1995 | 14 december 1995  | 28 december 1995  |

Correlatie coëfficiënt (R2) voor de stand op de 14<sup>e</sup> of 28<sup>e</sup> van de maand en de GxG

| GHG   |       |       | GLG   |       |       |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 0.769 | 0.672 | 0.625 | 0.500 | 0.402 | 0.380 |
| 0.599 | 0.574 | 0.606 | 0.363 | 0.359 | 0.388 |
| 0.520 | 0.557 | 0.544 | 0.368 | 0.441 | 0.545 |
| 0.682 | 0.733 | 0.672 | 0.680 | 0.630 | 0.633 |
| 0.615 | 0.646 | 0.608 | 0.738 | 0.798 | 0.817 |
| 0.571 | 0.612 | 0.622 | 0.835 | 0.863 | 0.871 |
| 0.753 | 0.747 | 0.713 | 0.903 | 0.907 | 0.898 |
| 0.750 | 0.745 | 0.748 | 0.908 | 0.909 | 0.880 |



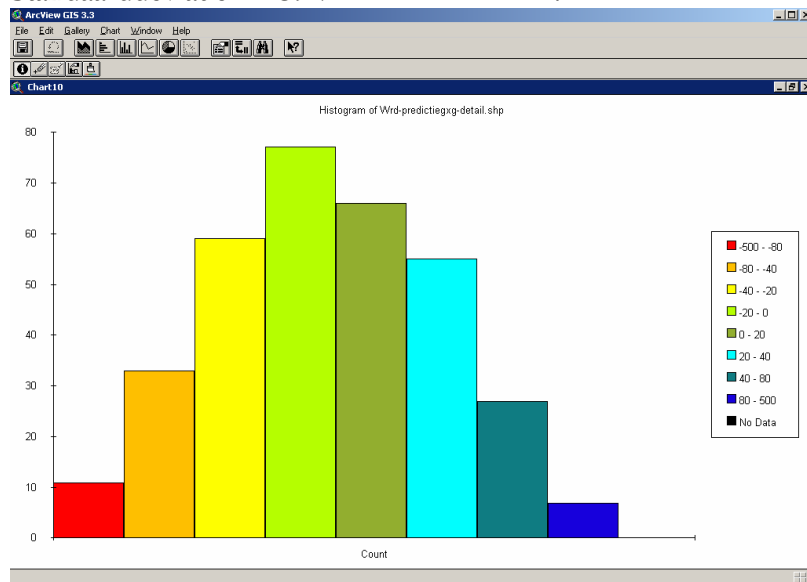




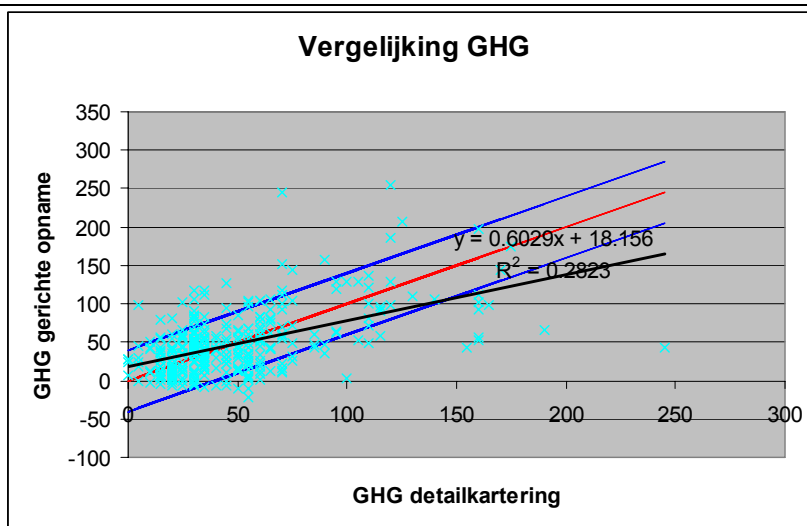
## Bijlage 3 Vergelijking

### Vergelijking GHG

| Vershil           | GHG-detailkaart | gerichte opname | Vershil         |
|-------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Gemiddeld         | 49.2            | 47.4            | = 1.8 cm natter |
| Standaarddeviatie | 39.7            | 41.1            | 40.1            |

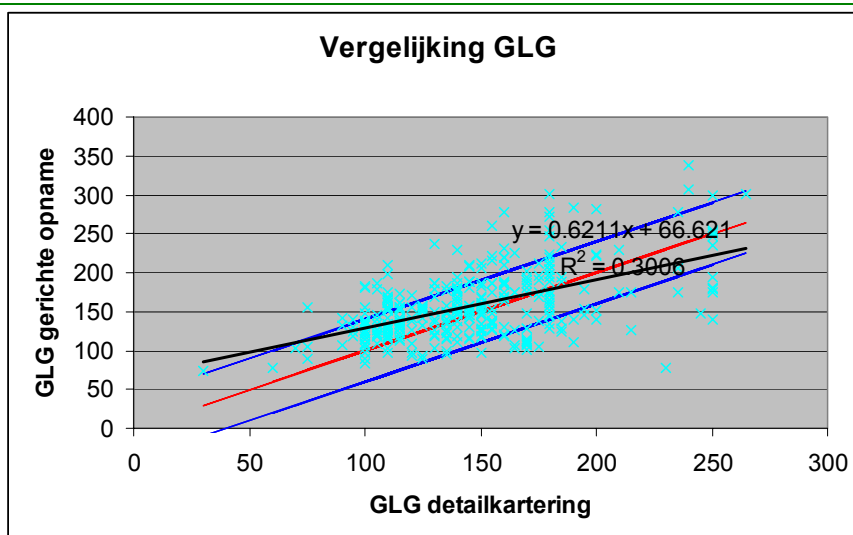
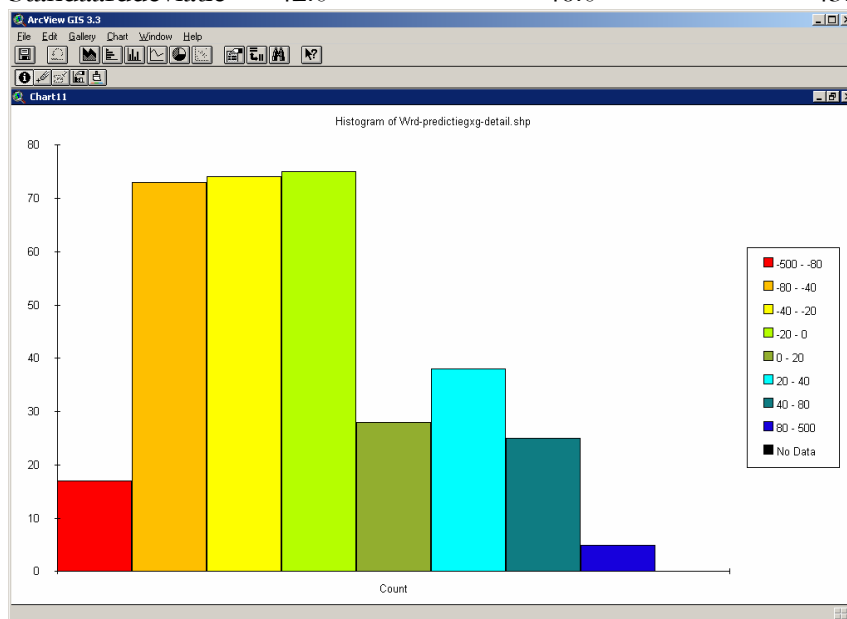


| LABEL      | COUNT | %        |
|------------|-------|----------|
| -500 - -80 | 11    | 3.283582 |
| -80 - -40  | 33    | 9.850746 |
| -40 - -20  | 59    | 17.61194 |
| -20 - 0    | 77    | 22.98507 |
| 0 - 20     | 66    | 19.70149 |
| 20 - 40    | 55    | 16.41791 |
| 40 - 80    | 27    | 8.059701 |
| 80 - 500   | 7     | 2.089552 |



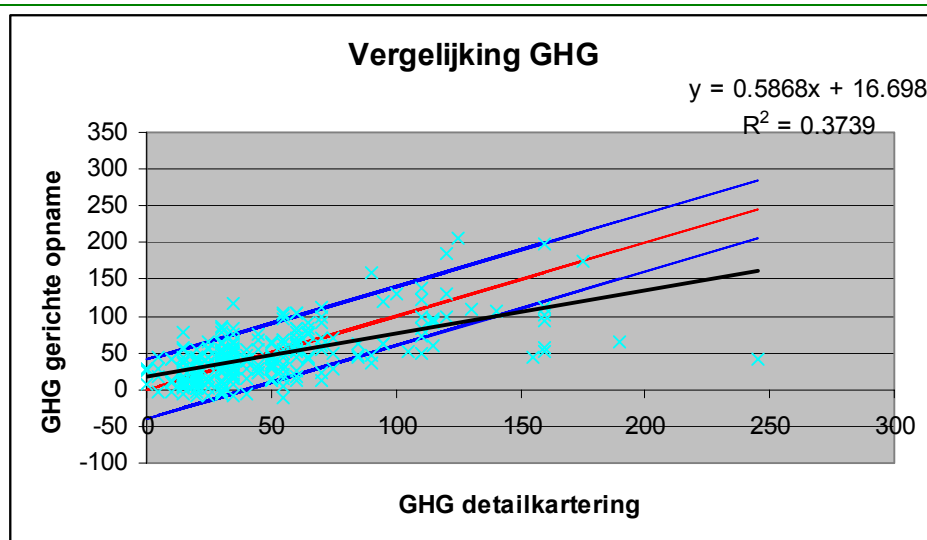
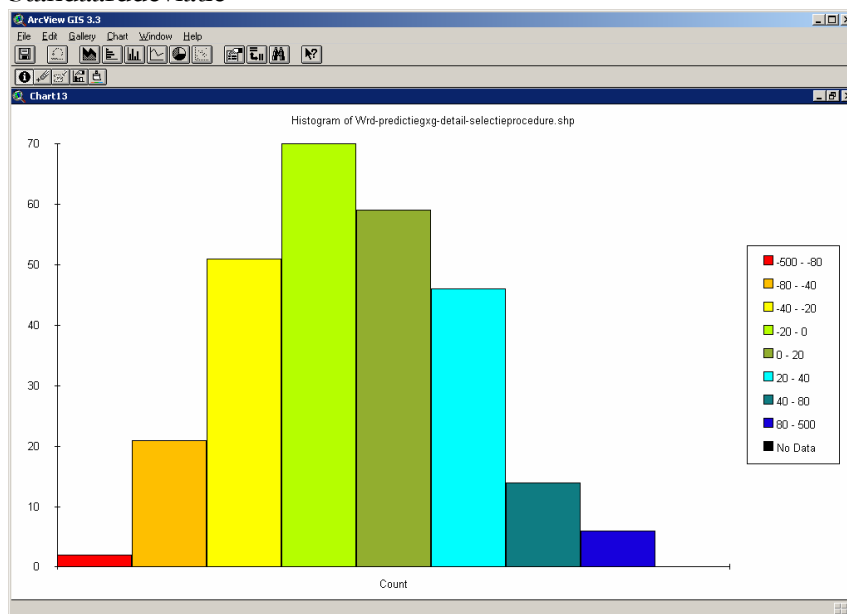
## Vergelijking GLG

| Vershil           | GHG-detailkaart | gerichte opname | Vershil         |
|-------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Gemiddeld         | 147.0           | 158.2           | = -11 cm droger |
| Standaarddeviatie | 42.0            | 46.0            | 43.8            |



## Vergelijking GHG na verwijdering punten

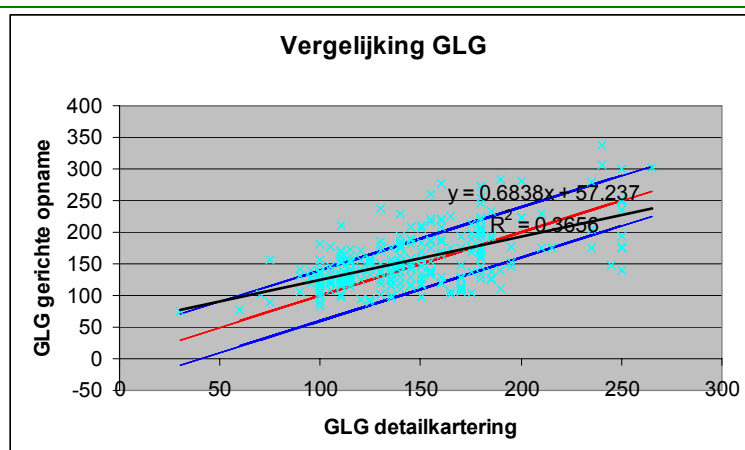
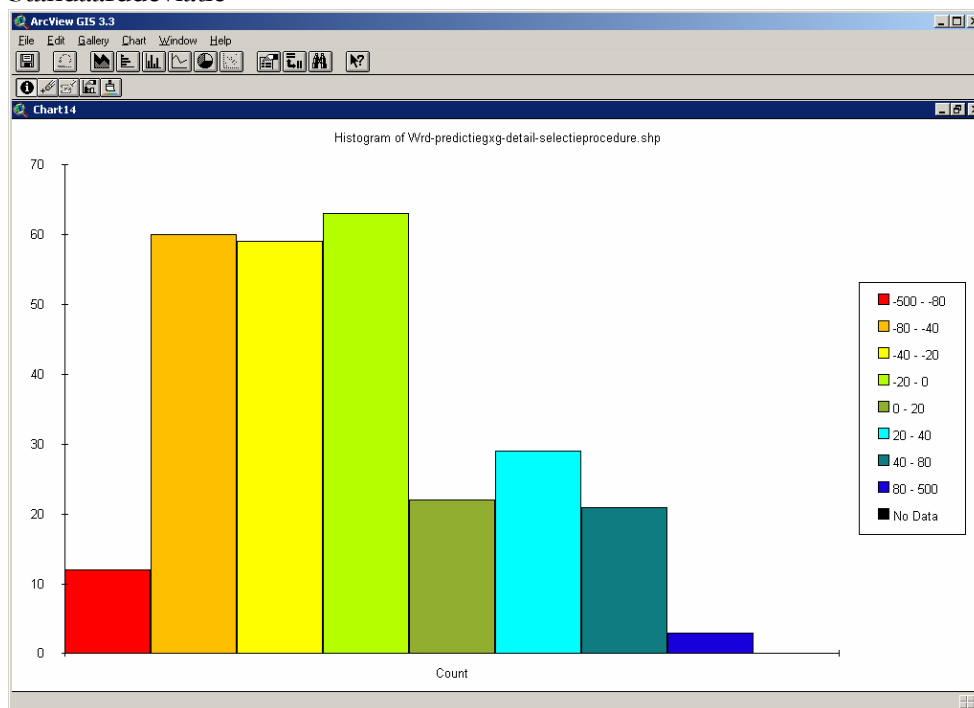
| Verschil          | GHG-detailkaart | gerichte opname | Verschil      |
|-------------------|-----------------|-----------------|---------------|
| Gemiddeld         |                 |                 | = 4 cm droger |
| Standaarddeviatie |                 |                 |               |





## Vergelijking GLG na verwijdering puntgegevens

| Vershil           | GHG-detailkaart | gerichte opname | Vershil         |
|-------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Gemiddeld         |                 |                 | = -11 cm droger |
| Standaarddeviatie |                 |                 |                 |



## Bijlage 4 Plausibiliteittoets van de gerichte opnamen

### Plausibiliteittoets van de gerichte opnamen binnen het Waterschap Regge en Dinkel

#### *Resultaten Veldbezoek*

Jaco van der Gaast

Naar aanleiding van de eerste resultaten van de Gd-kartering voor het waterschapsgebied van Regge en Dinkel is er op woensdag 12 mei 2004 een veldbezoek uitgevoerd. Het veldbezoek is uitgevoerd door Geert Thijssen, Arie van Kekem, Tom Hoogland en Jaco van der Gaast. Het veldbezoek had primair tot doel om te kijken naar de plausibiliteit van een aantal gerichte opnamegegevens. De eerste GxG resultaten van de Gd-kartering geven voor grote kaartvlakken geen plausibel beeld. Deze constatering heeft er toe geleid dat er nader gekeken is naar de invoergegevens van het maaiveldsregressiemodel, namelijk de gerichte opnamegegevens. Voor het detecteren van de te bezoeken locaties is gebruik gemaakt van detailkarteringen. Recent uitgevoerde detailkarteringen geven gezien de grote boordichtheid van gemiddeld 1 boring per hectare een goed beeld van de structuur van het Gt vlakken. De detailkarteringen zijn daarom gebruikt om de te bezoeken locaties te bepalen. De bezochte locaties hebben een verschil van minimaal 40 cm tov de detailkarteringen. Door voornamelijk te gaan kijken bij gerichteopnamelocaties met een minimaal verschil van 40 cm is de plausibiliteit van het meetpunt relatief gemakkelijk in het veld vast te stellen.

Locatie nummer 1 Enter

|                 |        |                |
|-----------------|--------|----------------|
| Stratum         |        | 21             |
| Puntnummer      |        | 18             |
| Veldschatting   | GHG    | 50 - 60        |
|                 | GLG    | 115 - 120      |
|                 | Gt     | IVu            |
| Gerichte opname |        |                |
| Meetdatum       | winter | 7 maart 2002   |
|                 | zomer  | 3 oktober 2002 |
| Meting          | winter | 110            |
|                 | zomer  | 115            |
| GxG             | GHG    | 110            |
|                 | GLG    | 117            |
|                 | Sd GHG | 20.5           |
|                 | Sd GLG | 25.2           |

Het meetpunt heeft betrekking op een beekdalgrond met zaveldek. Het punt ligt relatief dicht bij een sloot met een drooglegging van ongeveer 140 cm (slootdiepte 160, waterlaag 20). De Gd-kaart geeft het punt te droog weer. De GHG meting is ook te droog.

Conclusie:

- GHG meting gerichte opname niet representatief
- Detailkaart geeft Gt IIIb voor het punt nabij de sloot iets te nat voor de omgeving

Oorzaak:

Punt waarschijnlijk te dicht bij een diepe sloot

Locatie nummer 2 ten zuiden van Almelo

|                 |        |                |                |       |
|-----------------|--------|----------------|----------------|-------|
| Stratum         |        | 23             | 23             | Nieuw |
| Puntnummer      |        | 8              | 11             |       |
| Veldschatting   | GHG    | 50             | 70 – 80        | 30    |
|                 | GLG    | 120            | 160 - 170      | 115   |
|                 | Gt     | IVu            | VI             |       |
| Gerichte opname |        |                |                |       |
| Meetdatum       | winter | 4 maart 2002   | 21 februari    |       |
|                 | zomer  | 3 oktober 2002 | 3 oktober 2002 |       |
| Meting          | winter | 20             | 28             |       |
|                 | zomer  | 93             | 160            |       |
| GxG             | GHG    | 13             | 32             |       |
|                 | GLG    | 134            | 190            |       |

Het kaartbeeld van de Gd-kaart is in het veld niet terug te vinden. De detailkartering geeft een goed beeld dat overeenkomt met de maaiveldverschillen. Het meetpunt nummer 11 heeft een gemeten stand van 28 cm. Deze stand lijkt onwaarschijnlijk hoog gezien de Gt (VI). Toch is het mogelijk dat er dergelijke natte standen in een Gt VI gemeten worden. Temeer omdat we hier te maken hebben met een enkeerd met een A-horizont van 70 cm. (minerale gronden met veel org.stof hebben doorgaans minder berging). In de onderstaande tabel is een overzicht gegeven van de neerslag voorafgaande aan de meetdatum 21 februari 2002 voor station Twenthe (Bron: KNMI). De dag voorafgaande aan de meting is er ongeveer 20 mm neerslag gevallen. Door een dergelijke neerslag is het mogelijk dat de grondwaterstand kortstondig piekt en vervolgens snel weer uitzakt. Het meetmoment blijkt ongelukkig.

| datum     | Neerslag<br>(mm/d) |
|-----------|--------------------|
| 16-feb-02 | 0                  |
| 17-feb-02 | 0                  |
| 18-feb-02 | 0.7                |
| 19-feb-02 | 6.8                |
| 20-feb-02 | 19.5               |
| 21-feb-02 | 0                  |

Meetpunt 8 is vanaf de weg geschat, tevens is de sloot bekeken, glg is hierdoor wat onzeker, De Gd-ghg lijkt ongeloofwaardig. Ook de omliggende vlakken staan op de Gd-kaart te nat (betreffende ghg)

Conclusie:

- Meting is mogelijk maar niet representatief in de tijd hetgeen veel gevolgen kan hebben in het vervolgetraject van de Gd-kartering.
- Kaartbeeld van de Gd-kaart klopt niet
- Kaartbeeld van de detailkartering is goed

Oorzaak:

- Slecht meetmoment.

Locatie nummer 3 ten zuiden van Almelo

Perceel met buisdrainage op 1 meter met een drainafstand van 10 m kwel uit kanaal

|                 |        |                |
|-----------------|--------|----------------|
| Stratum         |        | 23             |
| Puntnummer      |        | 14             |
| Veldschatting   | GHG    | 70-80          |
|                 | GLG    | 140            |
|                 | Gt     | VI             |
| Gerichte opname |        |                |
| Meetdatum       | winter | 21 februari    |
|                 | zomer  | 3 oktober 2002 |
| Meting          | winter | 100            |
|                 | zomer  | 118            |
| GxG             | GHG    | 112            |
|                 | GLG    | 155            |

De wintermeting is op de dag uitgevoerd waarop 20 mm neerslag is gevallen op de dag er voor. De meting zou dus veel natter moeten zijn. Toch staat er 100 cm gemeten in het bestand. Wellicht is hier een schrijffout of een meetfout gemaakt. Dit is misschien te achterhalen door terug te gaan naar de veldgegevens. Een andere mogelijke verklaring is de locatie van de boring in relatie met de drainage. In theorie is het mogelijk om bij een boring net naast of zelfs op een drainbuis te plaatsen. Indien het meetgat toevallig net naast een drain is geplaatst is het wellicht mogelijk om de gemeten stand te meten de drains zitten immers op ongeveer 1 meter diepte.

Conclusie:

- Meting is met heel veel toeval wellicht mogelijk maar niet representatief voor de locatie
- Kaartbeeld van de Gd-kaart klopt niet, te droog evenals het punt.
- Kaartbeeld van de detailkartering is te nat. IIb op die locatie, waarschijnlijk door de drainage. Beeld in de omgeving lijkt wel te kloppen.
- De Gd-ghg is te diep, de locatie heeft kwel en bij de gegeven Gd-GHG zouden de drains droog staan.

Oorzaak:

- Evt toeval drainbuis.

Locatie nummer 4 ten zuiden van Almelo

Deze locatie heeft alleen betrekking op het kaartbeeld. Er is geen boring gedaan. In de Gd-kaart ontbreken de hogere plekken. De verschillen met de detailkartering kunnen groot zijn. In het landschap zijn duidelijke hogere plekken zichtbaar die overeen komen met de drogere plekken op de detailkaart.

Locatie nummer 12 Goor

Een locatie nabij een kanaal Nat gebied

|                 |        |              |              |
|-----------------|--------|--------------|--------------|
| Stratum         |        | 24           | 24           |
| Puntnummer      |        | 17           | 18           |
| Veldschatting   | GHG    | 20           | 50           |
|                 | GLG    | 100          | 120 - 130    |
|                 | Gt     | III          | VI           |
| Gerichte opname |        |              |              |
| Meetdatum       | winter | 7 maart 2002 | 7 maart 2002 |
|                 | zomer  | 26 sept 2002 | 26 sept 2002 |
| Meting          | winter | 72           | 81           |
|                 | zomer  | 97           | 81           |
| GxG             | GHG    | 74           | 50           |
|                 | GLG    | 140          | 186          |
|                 | Sd GHG | 20.3         | 29.7         |
|                 | Sd GLG | 25.8         | 41.8         |

Het kaartbeeld in de Gd-kaart is omgedraaid tov het maaiveld en de Detailkartering. De meetgegevens voor deze punten en de transformatie obv stambuisregressie zijn vreemd. De meting van 81 81 staat wel in de databestanden. Ook in de veldmap is voor locatie 18 twee maal 81 cm opgeschreven.

Conclusie:

- Kaartbeeld van de Gd-kaart klopt niet, kaartbeeld is omgedraaid.
- Meetgegevens gerichte opname lijken vreemd

Oorzaak:

- Nog geen directe oorzaak te vinden.

Locatie nummer 5 Tussen Goor en Haaksbergen.

De buizen die op de kaart staan zijn in het veld niet gevonden. De inschatting in het veld is dat de detailkaart wel klopt. De buisgegevens leken veel te droog. De buizen staan wellicht op een andere locatie.

Locatie 6 Enschede

|                 |        |              |              |              |
|-----------------|--------|--------------|--------------|--------------|
| Stratum         |        | 31           | 36           | 30           |
| Puntnummer      |        | 13           | 10           | 20           |
| Veldschatting   | GHG    | 80           | +/- 0        | 20           |
|                 | GLG    | 140          |              | 120          |
|                 | Gt     | VI-VII       |              | III-V        |
| Gerichte opname |        |              |              |              |
| Meetdatum       | winter | 7 maart 2002 | 7 maart 2002 | 4 maart 2002 |
|                 | zomer  | 26 sept 2002 | 26 sept 2002 | 26 sept 2002 |
| Meting          | winter | 118          | 0            | -10          |
|                 | zomer  | 155          | 150          | 105          |
| GxG             | GHG    | 126.5        | -7.2         | -21.5        |
|                 | GLG    | 186.2        | 182.2        | 145.9        |
|                 | Sd GHG | 20.7         | 21.7         | 18.8         |
|                 | Sd GLG | 25.6         | 25.6         | 25.8         |

Nabij een snelweg zijn twee punten bezocht 31/13 en 36/10. Het betreft een redelijk droog gebied met Gt VIo op de detailkaart. Volgens onze inschatting zou het plaatselijk ook Gt VII kunnen zijn. Beide punten zijn indertijd op de zelfde dagen gemeten. Vooral de GHG en de hieraan ten grondslag liggende wintermetingen zijn sterk verschillend. De locaties voor beide meetpunten lijken echter niet erg gelukkig geloot te zijn. Het meetpunt 31/13 is ten opzichte van de schatting iets te droog. Niet ver van het meetpunt loopt een brede diepe waterloop die de meting wellicht heeft beïnvloed. Het meetpunt 36/10 is gelegen in een braak stukje grond tussen wegen en naast bebouwing. Het stukje grond blijkt zeer sterk verdicht te zijn. Het bodemprofiel is verstoord en het materiaal stinkt. Het perceel staat hoogstwaarschijnlijk vaak blank. De verdichting is wellicht veroorzaakt doordat het terrein misschien gebruikt is voor opslag tijdens bijvoorbeeld de aanleg van de snelweg of een andere weg. Binnen het braakliggende stuk terrein is een eindje verderop een betonnen plateau te zien. De meting van 0 zou dus kunnen.

Conclusie:

- Meting is mogelijk en representatief voor de locatie, maar niet voor omgeving
- Kaartbeeld van de Gd-kaart klopt niet; te nat
- Kaartbeeld van de detailkartering klopt of het is ietsje droger Gt VII

Oorzaak:

- Meetpunt niet representatief in de ruimte.

Het meetpunt 30/20 is een meetpunt in een lokale laagte. Een gemeten stand boven maaiveld is mede daarom mogelijk. De indruk is dat het gebiedje wellicht iets te droog op de detailkaart staat (VIo). De Gd-kaart geeft echter een GHG boven maaiveld, hetgeen te nat is.

Conclusie:

- Meting is mogelijk in een lokale depressie.
- Kaartbeeld van de Gd-kaart klopt niet, te nat
- Kaartbeeld van de detailkartering is wellicht ietsje te droog

Oorzaak:

- Meetpunt niet representatief in de ruimte. Gezien de lokale laagte.

Locatie 7 ten noordoosten van Oldenzaal

|                    |        |            |            |            |            |
|--------------------|--------|------------|------------|------------|------------|
| Stratum            |        | 41         | 51         | 41         | 41         |
| Puntnummer         |        | 2          | 15         | 16         | 23         |
| Klei/keileemdiepte |        | 60         |            | 65         | 100        |
| Veldschatting      | GHG    | 20-30      | 70-80      | 30-40      | 30-40      |
|                    | GLG    | 120-180    | > 180      | > 150      | 180        |
|                    | Gt     | V          | VI         | V*         | V*         |
| Gerichte opname    |        |            |            |            |            |
| Meetdatum          | winter | 4 mrt 2002 | 4 mrt 2002 | 4 mrt 2002 | 4 mrt 2002 |
|                    | zomer  | 12 sept 02 | 12 sept 02 | 12 sept 02 | 12 sept 02 |
| Meting             | winter | 79         | 78         | 62         | 88         |
|                    | zomer  | 106        | 228        | 88         | 110        |
| GxG                | GHG    | 80.5       | 79.4       | 61.1       | 90.8       |
|                    | GLG    | 143.6      | 260.4      | 126.4      | 147.4      |
|                    | Sd GHG |            |            |            |            |
|                    | Sd GLG |            |            |            |            |

Voor de GHG is met behulp van gerichte opnames te diep ingeschat. Ook de gemeten standen zijn diep. De gemeten standen liggen onder het niveau van de begindiepte van de tertiaire klei of keileem. Indien er een gat wordt geboord in dergelijke klei is de toestroming naar het gat zeer langzaam. Bij de gerichte opnames is de tijd tussen boring en meting een tot enkele dagen. Deze periode kan in een droge periode te kort zijn om in het boorgat het niveau van de grondwaterstand te krijgen. In een natte periode is het denkbaar dat het boorgat volstroomt, doordat er gemakkelijk horizontale stroming over de kleilaag plaats kan vinden. Het is dus de vraag of er een goede freatische grondwaterstand kan worden gemeten in gebieden met tertiaire klei en/of keileem in de bodem (gebieden met een t of x toevoeging op de bodemkaart). Een bijkomend probleem bij de grondwaterstand in dit soort gebieden is het gegeven dat deze pakketten meestal niet op één niveau in de ondergrond voorkomen. Dit heeft tot gevolg dat er onder het maaiveld een ingewikkeld patroon aanwezig is van de tertiaire klei of keileem. Hierdoor kunnen kopjes en dalen in deze afzettingen voorkomen, waardoor laterale toe of afstroming afhankelijk van de locatie plaats kan vinden. De locatie van de boring in relatie tot de weersgesteldheid kan hierdoor zeer bepalend zijn voor een gemeten grondwaterstand. Dit soort gebieden zijn daarom zeer lastig in kaart te brengen met behulp van gerichte opnamegegevens. In dit soort gebieden is de representativiteit in zowel de ruimte als de tijd zeer lastig. Ook de relatie tussen buis en boorgat kan in dit soort gebieden ingewikkeld zijn.

Conclusie:

- Metingen zijn gedaan in de klei.
- Kaartbeeld van de Gd-kaart klopt niet, Gt patroon is omgedraaid.
- Kaartbeeld van de detailkartering lijkt te kloppen

Oorzaak:

- Meetpunt gezien de ondergrond wellicht niet representatief in ruimte en tijd.

#### Algehele Conclusie.

De meeste metingen blijken mogelijk, maar zijn niet altijd representatief. Het kan hierbij gaan om een slecht meetmoment waardoor de meting niet representatief is in de tijd. De bezochte meetpunten waren echter meestal niet representatief in de ruimte. Men heeft de voorkeur gegeven aan de aselechte manier van selecteren van de meetpunten. Dit heeft tot gevolg gehad dat er meetpunten zijn die niet representatief zijn voor hun omgeving. Voor dergelijke meetpunten hoeft men geen causaal verband te verwachten met de gebruikte hulpinformatie die gebruikt wordt bij het vervolgtraject van de Gd-kartering. Door het strikt toepassen van een aselechte steekproef zonder rekening te houden met de representativiteit van meetpunten is kennelijk de causaliteit uit het oog verloren. Dit kan tot gevolg hebben dat er vreemde maaiveldsregressiemodellen worden geselecteerd.

## Bijlage 5 Rekenregels voor controle van de regressie-uitkomsten op grondwatermeetpunten

H. Vroon en F. Brouwer

### *Opmerking:*

De rekenregels gelden alleen voor meetpunten die op de Bodemkaart van Nederland, schaal 1 : 50 000 in een enkelvoudige (unieke) bodemeenheid of Gt liggen. Meetpunten liggend in associaties of samengestelde eenheden worden dus summier gecontroleerd!

1. GHG klopt (niet) met de Gt van de Bodemkaart van Nederland, schaal 1 : 50 000:

- Gt I:  $-20 \leq \text{GHG} \leq 40$ ;
- Gt II:  $-20 \leq \text{GHG} \leq 80$ ;
- Gt II\*:  $0 \leq \text{GHG} \leq 100$ ;
- Gt III:  $-20 \leq \text{GHG} \leq 80$ ;
- Gt III\*:  $0 \leq \text{GHG} \leq 100$ ;
- Gt IV:  $25 \leq \text{GHG} \leq 140$ ;
- Gt V:  $-20 \leq \text{GHG} \leq 100$ ;
- Gt V\*:  $0 \leq \text{GHG} \leq 100$ ;
- Gt VI:  $25 \leq \text{GHG} \leq 140$ ;
- Gt VII:  $\text{GHG} \geq 40$ ;
- Gt VII\*:  $\text{GHG} \geq 40$ ;
- Gt -:  $\text{GHG} \geq -20$ .

2. GLG klopt (niet) met de Gt van de Bodemkaart van Nederland, schaal 1 : 50 000:

- Gt I:  $10 \leq \text{GLG} \leq 100$ ;
- Gt II:  $25 \leq \text{GLG} \leq 140$ ;
- Gt II\*:  $25 \leq \text{GLG} \leq 140$ ;
- Gt III:  $40 \leq \text{GLG} \leq 180$ ;
- Gt III\*:  $40 \leq \text{GLG} \leq 180$ ;
- Gt IV:  $40 \leq \text{GLG} \leq 180$ ;
- Gt V:  $\text{GLG} \geq 80$ ;
- Gt V\*:  $\text{GLG} \geq 80$ ;
- Gt VI:  $\text{GLG} \geq 80$ ;
- Gt VII:  $\text{GLG} \geq 80$ ;
- Gt VII\*:  $\text{GLG} \geq 120$ ;
- Gt -:  $\text{GLG} \geq 10$ .

3. Fluctuatie klopt (niet) met de Gt van de Bodemkaart van Nederland, schaal 1 : 50 000:

- Gt I:  $0 \leq (\text{GLG}-\text{GHG}) \leq 80$ ;
- Gt II:  $0 \leq (\text{GLG}-\text{GHG}) \leq 120$ ;
- Gt II\*:  $0 \leq (\text{GLG}-\text{GHG}) \leq 120$ ;
- Gt III:  $20 \leq (\text{GLG}-\text{GHG}) \leq 180$ ;
- Gt III\*:  $20 \leq (\text{GLG}-\text{GHG}) \leq 180$ ;
- Gt IV:  $0 \leq (\text{GLG}-\text{GHG}) \leq 180$ ;
- Gt V:  $(\text{GLG}-\text{GHG}) \geq 40$ , indien  $\text{GLG} \geq 120$  dan  $(\text{GLG}-\text{GHG}) \geq 80$ ;
- Gt V\*:  $(\text{GLG}-\text{GHG}) \geq 40$ ;
- Gt VI:  $(\text{GLG}-\text{GHG}) \geq 20$ ;
- Gt VII:  $(\text{GLG}-\text{GHG}) \geq 20$ ;
- Gt VII\*:  $(\text{GLG}-\text{GHG}) \geq 20$ ;
- Gt -:  $(\text{GLG}-\text{GHG}) \geq 0$ .

4. Stagnatiegronden op de Bodemkaart van Nederland, schaal 1 : 50 000 met code KX, KT of gronden met een toevoeging achter .../x of .../t:



- GHG  $\leq 100$ ;
- GLG  $\geq 80$ ;
- indien GLG  $\geq 120$  dan (GLG–GHG)  $\geq 80$ .

5. Xerogronden (Hd, Y, Zd, Zb, Rd, Ld, Bld, BLb) op de Bodemkaart van Nederland, schaal 1 : 50 000 of gronden met een hellingklasse i.p.v. een Gt:

- GHG  $\geq 40$ ;
  - GLG  $\geq 120$ ;
- of droge gronden (Lh, BLh, zEZ en bEZ):
- GHG  $\geq 25$ ;
  - GLG  $\geq 80$ ;

6. Natte gronden op de Bodemkaart van Nederland, schaal 1 : 50 000 (alle veengronden en ongerijpte gronden) zonder toevoeging .../x of .../t:

- GHG  $\leq 100$ ;
- GLG  $\leq 160$ ;
- (GLG–GHG)  $\leq 120$ .

7. Goed doorlatende gronden op de Bodemkaart van Nederland, schaal 1 : 50 000 met toevoeging achter .../g en zandgronden met grofzandige textuur (30) en kleigronden met profielverloop 2; in alle gevallen in combinatie met een slootdichtheid  $\leq 100$  meter:

- GHG  $\leq 100$ ;
- GLG  $\leq 180$ ;
- (GLG–GHG)  $\leq 120$ .

8. Minder goed doorlatende gronden op de Bodemkaart van Nederland, schaal 1 : 50 000 zonder toevoeging achter .../g en zandgronden zonder grofzandige textuur (30) en kleigronden zonder profielverloop 2:

- (GLG–GHG)  $\geq 40$ .

9. Slecht doorlatende kleigronden op de Bodemkaart van Nederland, schaal 1 : 50 000 met profielverloop 1, 3 en 4:

- GHG  $\leq 100$ ;
- GLG  $\leq 180$ ;
- (GLG–GHG)  $\leq 120$ .