

Actualisatie grondwatertrappenkaart Waterschap Rijn en IJssel

Actualisatie grondwatertrappenkaart Waterschap Rijn en IJssel

T. Hoogland

P.A. Finke

F. de Vries

Alterra-rapport 126

Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte, Wageningen, 2003

REFERAAT

Hoogland, T., P.A. Finke & F. de Vries, 2003. . *Actualisatie grondwatertrappenkaart Waterschap Rijn en IJssel*. Wageningen, Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte. Alterra-rapport 126. 48 blz. 9 fig.; 8 tab.; 6 ref.

In opdracht van het Waterschap Rijn en IJssel zijn bestanden en kaarten gemaakt van de gemiddelde hoogste, voorjaars- en laagste grondwaterstand (GHG, GVG en GLG) en van de grondwatertrap (Gt). Hierbij zijn als basisinformatie gebruikt tijdreeksen en incidentele metingen van grondwaterstanden. Door toepassing van technieken uit de tijdreeksmodellering en regressietechnieken is een uniforme set puntschattingen van GHG, GVG en GLG verkregen. Deze gegevens zijn, gewogen naar kwaliteit, gebruikt om relaties met recent verzamelde hoogtegegevens (het AHN) te leggen. Door gebiedsdekkende toepassing van deze relaties en een statistische foutencorrectie zijn hooggedetailleerde bestanden verkregen met de resolutie van het AHN.

Trefwoorden: actualisatie Gt, grondwaterstanden, kartering, statistiek

ISSN 1566-7197

Dit rapport kunt u bestellen door € 17 over te maken op banknummer 36 70 54 612 ten name van Alterra, Wageningen, onder vermelding van Alterra-rapport 126. Dit bedrag is inclusief BTW en verzendkosten.

© 2003 Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte,
Postbus 47, NL-6700 AA Wageningen.
Tel.: (0317) 474700; fax: (0317) 419000; e-mail: info@alterra.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 Aanleiding en doelstellingen onderzoek	11
1.2 Begrippenkader	11
1.3 Indeling van het rapport	12
2 Werkwijze bij de kartering van de grondwatersituatie	13
2.1 Globale werkwijze	13
2.2 Gebiedsindeling	15
2.3 Gegevensverzameling	16
2.3.1 Grondwatermeetreeksen	16
2.3.2 Veldmetingen van grondwaterstanden	16
2.3.3 Overige gegevens en gegevensbewerking	17
2.4 Tijdreeksmodellering	18
2.5 Naar een set basisgegevens voor de kartering	20
2.5.1 Van gerichte opnames naar klimaatsrepresentatieve GHG, GVG, GLG	20
2.5.2 Afleiden van vlakdekkende hulpgegevens	20
2.6 Naar een vlakdekkende beschrijving van de grondwatersituatie	25
2.6.1 GHG, GVG, GLG en Gt	25
2.7 Validatie	28
3 Resultaten	31
3.1 Gebiedsindeling	31
3.2 Klimaatsrepresentatieve GxG	32
3.3 Kartering	34
3.3.1 Gerichte opnames	34
3.3.2 Relaties tussen hulpinformatie en GxG	35
3.3.3 Foutcorrectie en nabewerking	36
3.4 Validatie	36
4 Conclusies en aanbevelingen	39
Literatuur	41
Bijlage	
1 Regressiefuncties van AHN+ naar Gd	43

Woord vooraf

In opdracht van het Waterschap Rijn en IJssel heeft Alterra gedetailleerde bestanden en kaarten gemaakt die de grondwaterdynamiek beschrijven met een ruimtelijke resolutie van 25x25 m². Het veldwerk voor deze kartering is uitgevoerd tussen 1997 en 1999 en betreft het grootste deel van het beheersgebied van het Waterschap.

Alterra aanvaardt in mei 1997 de opdracht van het Waterschap Rijn en IJssel (WRIJ) tot de levering van gebiedsdekkende actuele GHG-, GLG- en Gt-bestanden. Na levering van deze bestanden in het najaar van 2000 komt Waterschap Rijn en IJssel tot het oordeel dat deze bestanden niet voldoen aan de door haar gewenste en verwachte kwaliteit. Hierop wordt in oktober 2001 besloten een onafhankelijke commissie in te stellen die tot taak heeft advies uit te brengen over de betrouwbaarheid en doelmatigheid van het door Alterra aan WRIJ geleverde product. De commissie komt tot de conclusie dat er geen principiële bezwaren kleven aan de gebruikte methode, maar dat de geleverde kaart niet geschikt is om deze verantwoord voor het regionale waterbeheer te gebruiken.

Tussen WRIJ en Alterra wordt afgesproken om op basis van de eerder verzamelde meetgegevens, volgens de laatste stand van de GD-methode, een nieuwe kaart te maken. Bij het maken van deze nieuwe kaart op basis van de oorspronkelijke metingen wordt gebruik gemaakt van aanvullende ruimtelijke hulpinformatie, zoals Gt-informatie uit de 1: 50 000 bodemkaart en informatie over de dichtheid aan greppels en sloten. Ook worden een aantal deelgebieden die volgens het waterschap nauwelijks van elkaar verschillen samengevoegd. Dit rapport beschrijft de methoden en resultaten van dit onderzoek.

Samenvatting

Alterra aanvaardt in mei 1997 de opdracht van het Waterschap Rijn en IJssel (WRIJ) tot de levering van gebiedsdekkende actuele GHG-, GLG- en Gt-bestanden. In opdracht van het Waterschap Rijn en IJssel heeft Alterra gedetailleerde bestanden en kaarten gemaakt die de grondwaterdynamiek beschrijven met een ruimtelijke resolutie van 25x25 m². Het veldwerk voor deze kartering is uitgevoerd tussen 1997 en 1999 en betreft het grootste deel van het beheersgebied van het Waterschap.

Uitgangspunt was hierbij, dat voor de bestrijding van regionaal waterbeheer ruimtelijke informatie over de grondwaterdynamiek een vereiste is, en dat het beschikbare kaartmateriaal hiervoor niet meer volstond.

Onderliggend rapport geeft de hierbij gehanteerde methoden en bereikte resultaten weer voor het beheersgebied van Waterschap Rijn en IJssel.

De kartering van de grondwaterdynamiek kan gezien worden als een stapsgewijze verdichting van ruimtelijke meetgegevens tot een gebiedsdekkend bestand:

1. Startpunt is het bestaande meetnet van grondwaterstandbuizen met ondiepe filters. Hier maken het NITG-meetnet maar ook door derden onderhouden meetnetten deel van uit. De in deze meetnetten gemeten grondwaterstandsmeetreeksen worden geanalyseerd met tijdreeksmodellen zodat een klimaats-representatief beeld van de grondwaterdynamiek ontstaat dat tevens de huidige inrichting en beheer weerspiegelt.
2. Op basis van een onderverdeling van het gebied worden extra meetlocaties gekozen die elk twee maal worden bemeten. Deze waarnemingen worden eveneens omgezet in een klimaatsrepresentatief beeld.
3. De aldus verkregen puntgegevens worden in verband gebracht met gebiedsdekkende hulpbestanden, welke voor een belangrijk deel zijn afgeleid van het Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN). De hieruit verkregen relaties worden gebiedsdekkend toegepast, en leiden na een statistische foutencorrectie tot een gebiedsdekkend beeld van de grondwaterdynamiek.

Deze werkwijze is toegepast, en de resulterende bestanden van GHG, GVG, GLG, Gt zijn besproken met een vertegenwoordiger van het Waterschap. In deelgebieden zijn de kaarten op aangepast en vervolgens opgeleverd. Alle bestanden hebben een resolutie van 25x25 m² en dienen te worden gepresenteerd op schaal 1 : 25 000.

Op de GxG-kaarten die op bovenbeschreven wijze zijn geproduceerd, is een kwaliteitstoets uitgevoerd. Hiervoor zijn 92 GHG, GVG en GLG-puntmetingen gebruikt die niet bij de kartering zijn betrokken. Doel van de validatie is om voor het gebied als geheel een kwaliteitsbeoordeling van de gemaakte kaarten te geven. De systematische fout in GHG, GLG en GVG is kleiner dan een centimeter, wat betekent dat er geen systematisch verschil is tussen de kaart en de validatiepunten. De feitelijke (validatie-)kwaliteit blijkt minder dan de tijdens de kartering berekende kwaliteit. Dit betekent dat de berekende spreiding in de kaarten is onderschat. Uit

deze validatie blijkt dat de nieuwe geactualiseerde Gt-kaart voor de huidige situatie objectief beter is dan de oude (1 : 50 000) Gt-kaart, dat de nieuwe geactualiseerde Gt-kaart niet systematisch te nat of te droog is en dat de oude Gt-kaart voor de huidige situatie een systematisch te nat beeld van de grondwatersituatie geeft.

1 Inleiding

1.1 Aanleiding en doelstellingen onderzoek

In 1996 heeft DLO-Staring Centrum in opdracht van het Waterschap Rijn en IJssel een programmeringstudie naar de gegevensbehoefte van het Waterschap ten behoeve van het regionaal waterbeheer uitgevoerd (Finke et al., 1996). In deze studie zijn een aantal scenario's voor gegevensverzameling gedefinieerd en geanalyseerd op kosten en doorlooptijd. Na interne discussie heeft het Waterschap gekozen om:

1. In de strategische actiegebieden binnen het beheersgebied een gedetailleerde gegevensverzameling uit te voeren (scenario G1 uit de programmeringstudie, een gebied van ca. 66000 ha);
2. In het volledige beheersgebied (ca. 197000 ha) een actueel bestand van de dynamiek van het freatisch grondwater aan te leggen, met daarbij in een deelgebied (ca. 131000 ha, zijnde het beheersgebied minus de strategische actiegebieden) de opbouw van een bestand met representatieve bodembeschrijvingen (scenario M3 uit de programmeringstudie).

Het Waterschap heeft er tevens voor gekozen, een gebiedsdekkend digitaal terrein model te laten maken met een hoge ruimtelijke dichtheid, met de laserscantechniek. Dit heeft geresulteerd in een gebiedsdekkend terreinmodel deel uitmakend van het Actueel Hoogtemodel Nederland (AHN). Het AHN is essentiële hulpinformatie om de grondwatersituatie gedetailleerd te kunnen karteren.

De doelstellingen van het onderzoek zijn:

1. Het maken van actuele bestanden met GHG, GLG, GVG (Gemiddelde Voorjaars Grondwaterstand) en Gt-gegevens met de ruimtelijke dichtheid van het DTM (16 punten per ha) in het gehele beheersgebied exclusief het strategische actiegebied Winterswijk. In dit strategische actiegebied heeft een schaal 1 : 10 000 Gt-kartering plaatsgevonden als onderdeel van een bodemkartering schaal 1 : 10 000.
2. Het testen en documenteren van de kwaliteit van de gemaakte actuele bestanden, met name voor het deel van het beheersgebied liggend op het Oostnederlandse plateau (exclusief het strategische actiegebied Winterswijk).
3. Het maken van een bestand met representatieve bodemprofielen (dichtheid 1 profiel per 2 km²) in een gebied van ca. 131 000 ha binnen het beheersgebied.

Dit rapport richt zich op de werkwijze gevolgd bij doelstellingen 1 en 2.

1.2 Begrippenkader

In dit rapport zullen een aantal afkortingen en begrippen worden gebruikt welke hieronder worden gedefinieerd:

Grondwaterstand is de stijghoogte ten opzichte van het maaiveld in een boorgat of een peilbuis met ondiepe filterdiepte (in het algemeen minder dan 5 meter onder het maaiveld);

HW3 respectievelijk *LW3* zijn het gemiddelde van de drie hoogste respectievelijk laagste grondwaterstanden die in een hydrologisch jaar (1 april t/m 31 maart) worden gemeten, uitgaande van een tweewekelijkse meetfrequentie;

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

GHG (Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand) is gedefinieerd als het gemiddelde van de *HW3* over een aaneengesloten periode van tenminste acht jaar waarin geen ingrepen hebben plaatsgevonden. In dit rapport zijn alle gepresenteerde *GHG* berekend over 30 jaar (de klimaatperiode);

GLG (Gemiddeld Laagste Grondwaterstand) is gedefinieerd als het gemiddelde van de *LW3* over een aaneengesloten periode van tenminste acht jaar waarin geen ingrepen hebben plaatsgevonden. In dit rapport zijn alle gepresenteerde *GLG* berekend over 30 jaar (de klimaatperiode);

GVG (Gemiddelde VoorjaarsGrondwaterstand) is in dit rapport gedefinieerd als het gemiddelde van de *VG3* over een aaneengesloten periode van tenminste acht jaar waarin geen ingrepen hebben plaatsgevonden. In dit rapport zijn alle gepresenteerde *GVG* berekend over 30 jaar (de klimaatperiode);

GxG staat in dit rapport voor *GHG*, *GVG* en *GLG* samen.

Gt (GrondwaterTrap) is een typische combinatie van *GHG*- en *GLG*-klassen welke op thematische kaarten kan worden weergegeven.

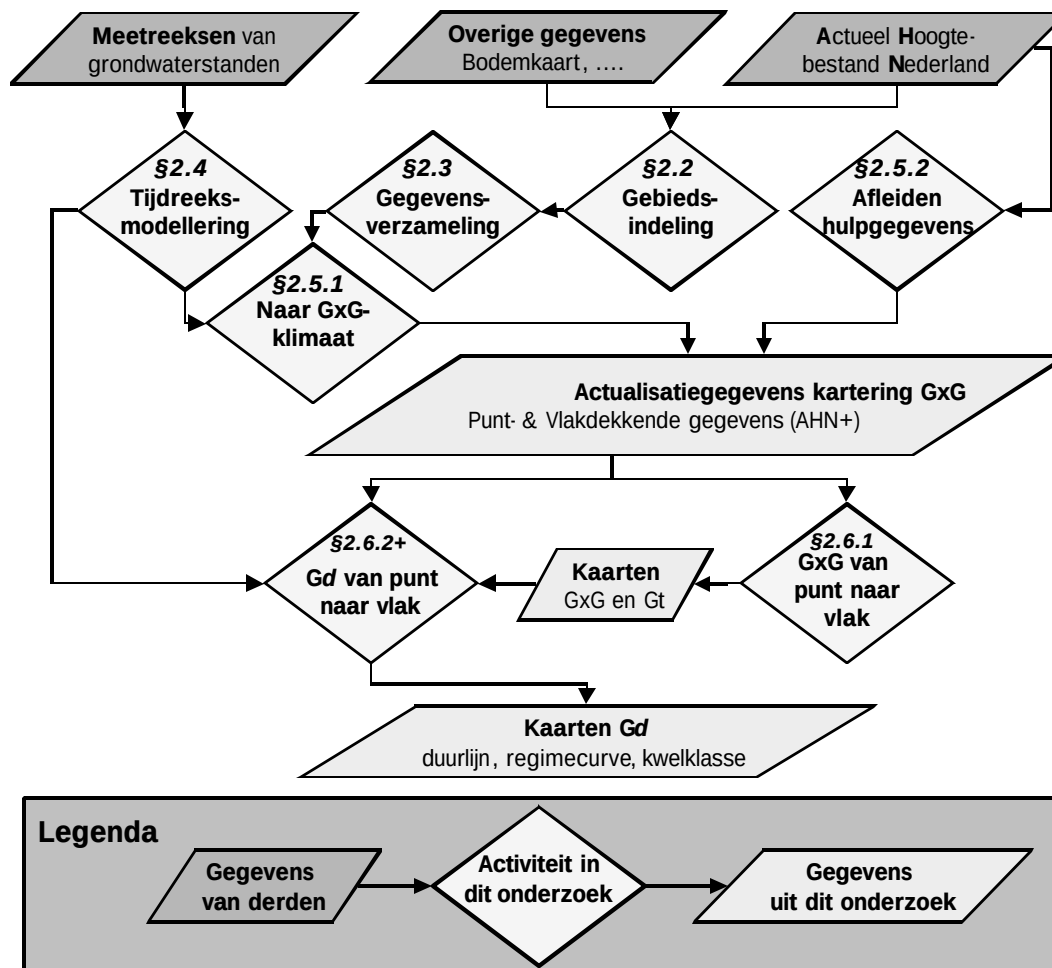
1.3 Indeling van het rapport

Hoofdstuk 2 beschrijft de werkwijze die is gevolgd om te komen tot gebiedsdekkende bestanden van de *GHG*, *GVG*, *GLG* en *Gt*. De resultaten zijn beschreven in hoofdstuk 3. Een lezer die dit rapport op hoofdlijnen wil doornemen kan zich beperken tot het lezen van de samenvatting, sectie 2.1 voor een samenvatting van de werkwijze, sectie 3.4 voor de kwaliteitsbeoordeling van de bestanden en hoofdstuk 4 voor een overzicht van de conclusies.

2 Werkwijze bij de kartering van de grondwatersituatie

2.1 Globale werkwijze

De globale werkwijze om te komen tot een gebiedsdekkende beschrijving van de actuele grondwatersituatie is weergegeven in Figuur 1. De activiteiten zijn hierin met ?-symbolen aangeduid; voor een gedetailleerdere beschrijving wordt verwezen naar de in de figuur aangegeven paragraafnummers. De globale werkgang wordt hieronder samengevat, waarbij de figuur van boven naar beneden wordt doorlopen.



Figuur 1 Globale werkwijze bij de kartering van de grondwatersituatie

Gebruikte basisgegevens

Bij de kartering is gebruik gemaakt van de volgende (digitale) gegevens van derden:

- Meetreeksen van grondwaterstanden in het NITG-meetnet (OLGA- en OLGA-SUN peilbuizen met ondiepe filters).
- bodemkaart- en Gt-kaart 1 : 50 000 (Alterra);
- topografische kaart 1 : 10 000 (Topografische Dienst, 1990 en recenter);

- het Actueel Hoogtebestand Nederland (Meetkundige Dienst, 1999);
- neerslag- en verdampingsgegevens van de neerslag- en verdampingsstations van het KNMI.

Daarnaast is vanuit het Waterschap informatie aangeleverd omtrent

- peilen in de IJssel en Pannerdens kanaal
- incidentele grondwaterstandmetingen in niet-OLGA peilbuizen.

Om de grondwaterstandgegevens beter gebiedsdekkend te maken, zijn door Alterra op een groot aantal locaties zomer- en wintergrondwaterstanden gemeten:

- aanvullende grondwaterstanden.

Van basis- naar actualisatiegegevens

De **basisgegevens** zijn met diverse methoden vertaald naar een éénduidige dataset met GxG-waarden op puntlocaties. Dit wordt geïllustreerd in Figuur 2.

Tijdreeksen van gemeten grondwaterstanden zijn omgezet naar klimaats-representatieve GxG (door middel van tijdreeksmodellering). In de zomer en de winter zijn op een groot aantal locaties grondwaterstanden in het veld gemeten. Deze metingen zijn met deze GxG uit tijdreeksen door middel van regressie-technieken in verband gebracht en omgezet naar klimaatsrepresentatieve GxG. Omdat het statistische methoden betreft is naast de GxG op elke locatie ook de betrouwbaarheid van deze GxG geschat.

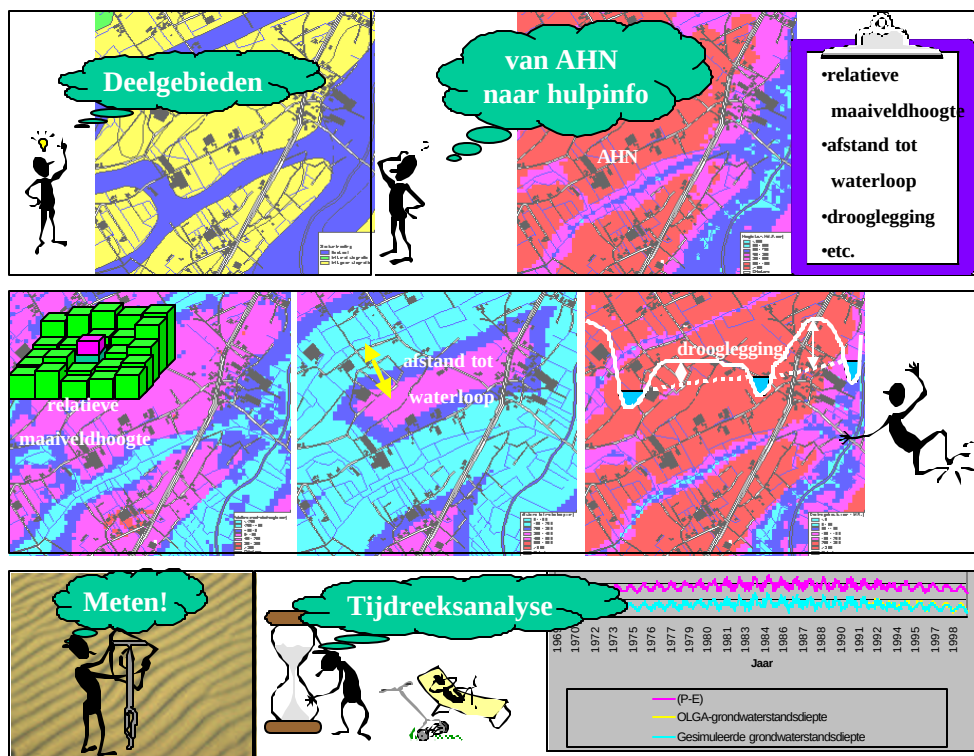
Naast de GxG-waarden op punten zijn er gebiedsdekkende bestanden gemaakt met hulpinformatie die uit het AHN en de Topografische kaart wordt afgeleid. Voorbeelden hiervan zijn de drooglegging, afstand tot waterlopen en relatieve maaiveldhoogte. Ook het grondgebruik en de 'oude' Gt zijn als hulpinformatie gebruikt. Deze hulpinformatie is op alle gridcellen van het AHN (25x25 m²) bekend, en heeft dus een veel grotere dichtheid dan de op punten bepaalde GxG.

Tenslotte zijn er ook deelgebieden onderscheiden. Deze deelgebieden worden elk gekarakteriseerd door een uniforme (maar nog niet bepaalde) relatie tussen maaiveldeigenschappen en de GxG.

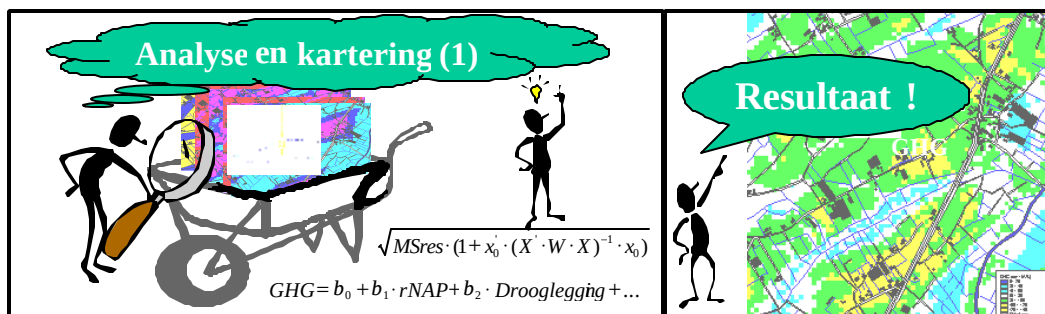
GxG-waarden op punten, hulpinformatie en deelgebiedsindeling samen vormen de **actualisatiegegevens** waarmee de grondwaterkartering is uitgevoerd.

De feitelijke kartering

Per deelgebied zijn de GxG-puntgegevens en de hulpinformatie uit de **actualisatiegegevens** met elkaar in verband gebracht (door middel van regressie-technieken). Dit levert per deelgebied één vergelijking op waarmee de GHG wordt voorspeld uit een combinatie van verschillende hulpgegevens, en dito vergelijkingen voor de GVG en GLG. Deze vergelijkingen worden gebiedsdekkend toegepast (kaart 1). Daarnaast is gekeken of toepassing van deze vergelijkingen lokaal tot verschillen tussen gemeten (actualisatiegegevens) en voorspelde (met de vergelijkingen) GxG leidt. De verschillen worden eveneens in kaart gebracht met een interpolatietechniek (kaart 2). Uit de optelling van de kaart1 en kaart 2 volgen de definitieve kaarten van GxG. Uit de kaarten van GHG en GLG wordt de Gt-kaart bepaald. Deze aanpak leidt dus tot **gebiedsdekkende bestanden met GHG, GVG, GLG en Gt**. Zie ook Figuur 3.



Figuur 2 Stappen van basis- naar actualisatiegegevens.



Figuur 3 Stappen bij het in kaart brengen van de Gd

2.2 Gebiedsindeling

Het onderscheiden van deelgebieden wordt stratificatie genoemd. In elk van de deelgebieden zal uiteindelijk een unieke relatie tussen GHG, GVG en GLG en maaiveld-gerelateerde parameters worden ontwikkeld en toegepast. Het doel van stratificatie is om de onzekerheid van de kaarten van de GxG te minimaliseren. Hiertoe worden de deelgebieden onderscheiden op basis van hydrologisch gerelateerde en topografisch (hoogte-) gerelateerde eigenschappen, zodat mag worden verondersteld dat binnen elk deelgebied een uniforme relatie tussen maaiveld-gerelateerde eigenschappen en de GxG bestaat, die tijdens het onderzoek met regressietechnieken wordt bepaald. Tussen deelgebieden kunnen deze relaties

aanmerkelijk verschillen. In het beheersgebied van Waterschap Rijn en IJssel is met name gelet op de grondsoort (zand, klei, leem), landschappelijke positie (beekdalen, hoger gelegen bouwlanden, dekzandruggen, Oostnederlands Plateau), de historische grondwatersituatie (de Gt op de bestaande kaarten).

2.3 Gegevensverzameling

2.3.1 Grondwatermeetreeksen

De in dit onderzoek gebruikte grondwaterstandsmetreeksen komen voor het overgrote deel uit de OLGA (On Line Grondwater Archief) databank van NITG (Van Bracht, 1988). Vanaf 1-1-2001 heet deze databank DINO. Hieronder wordt beschreven hoe tot een bruikbare selectie van grondwatermeetreeksen is gekomen.

OLGA

De voor het onderzoek vereiste grondwaterstandbuizen betroffen in eerste instantie alle landbouwbuizen en peilbuizen per topografisch kaartblad, schaal 1 : 25 000 inclusief de buizen uit het OLGA-SUN deel van het archief. Met behulp van een selectieprocedure binnen OLGA is het buizenbestand per kaartblad ingeperkt tot de buizen met een bovenste filterdiepte van maximaal 5 m beneden maaiveld. Vervolgens werden die buizen uitgekozen met een opnamefrequentie van minimaal 9 waarnemingen per hydrologisch halfjaar, en een aaneengesloten meetreeks van minimaal 4 jaar doorlopend tot minimaal een half jaar voor het begin van de kartering (het invoeren van grondwaterstanden in OLGA loopt ongeveer een half jaar achter). Bij OLGA-SUN buizen moesten de meetreeksen minimaal 1,5 jaar lang zijn. Van deze selectiebuizen werden via NITG (soms de terreinbeheerders) de situatieschetsen verkregen. Tijdens het aansluitende veldbezoek heeft er van deze selectie een kwaliteitsbeoordeling plaatsgevonden.

Belangrijke beoordelingscriteria betreffen:

- de afstand tot rivier of kanaal (minimaal 40 à 50 m);
- de afstand tot waterlopen en beken (minimaal 20 à 25 m);
- de afstand tot een watervoerende perceelssloot (minimaal 8 à 10 m).

Bij de beoordeling is ook gelet op de ligging van het meetpunt onder invloed van afstromend oppervlaktewater, of in een terreinlaagte dan wel in dijken, opritten enz. Tenslotte zijn van grondwaterstandbuizen die na de voorgaande stappen nog deel uitmaken van de selectie de grondwaterstanden ten opzichte van maaiveld opgevraagd ten behoeve van de tijdreeksanalyse.

2.3.2 Veldmetingen van grondwaterstanden

Gedurende het project worden grondwaterstanden gemeten in boorgaten op vooraf vastgestelde locaties en tijdstippen. Het doel van dit veldwerk is om het meetnet van grondwaterstanden voldoende te verdichten om later (sectie 2.6) een statistische relatie met maaiveldhoogten en daarvan afgeleide eigenschappen te kunnen bepalen.

Hiertoe is het nodig dat per deelgebied uit de stratificatie op -gemiddeld- 230 locaties de GHG, GVG en GLG gemeten worden. In grotere deelgebieden is dat aantal groter (tot maximaal 88 locaties), in kleinere deelgebieden kleiner (tot minimaal 14 locaties). Een aanvullende eis is, dat deze locaties zo gelijk mogelijk over het deelgebied en de voorkomende maaiveldhoogten zijn verspreid, zodat de statistische relatie voor het gehele stratum en de daarin voorkomende maaiveldhoogten voldoende krachtig is. In de praktijk leidt het bovenstaande tot een gemiddelde van 1 locatie per 170 hectare. De locaties worden als volgt gekozen:

1. Voor elk stratum is bepaald hoeveel waarnemingen er worden gedaan. Gemiddeld zijn dit er 20.
2. Per stratum zijn random waarnemingslocaties gekozen. Daarnaast zijn per locatie 2 reservelocaties op een minimale afstand van 250 m gekozen.

Er waren twee meettijdstippen: één maal in de winter en één maal in de zomer. Omdat zowel het tijdstip als de locatie van de opnames vooraf worden bepaald, wordt er gesproken van twee 'gerichte opnames'.

Tijdens het veldwerk worden boorgaten gemaakt tot 10 centimeter onder het grondwaterniveau (maar nooit dieper dan 2,50 meter). Na een instelperiode (1 à 2 dagen) wordt de grondwaterstand gemeten.

Op de tijdstippen van de opnames van de grondwaterstanden zijn in het veldwerk ook grondwaterstanden gemeten in een aantal OLGA-peilbuizen waarvan de GxG is berekend.

2.3.3 Overige gegevens en gegevensbewerking

Bewerking van het AHN

Het Actueel Hoogtebestand Nederland is na ontvangst getoetst. Er bleken een aantal problemen te zijn met het bestand en die zijn in de voorbereidende fase van het onderzoek opgelost.

- Een eerste probleem was de incomplete filtering van topografie, met name aan stadsranden. Deze filtering is, op basis van het 25x25 meter AHN-grid, alsnog uitgevoerd met behulp van het grondgebruikbestand LGN3⁺.
- Daarnaast zijn een aantal extreme waarden, mogelijk niet uit het bestand verwijderde huizen, hooibergen etc, alsnog weggefilterd door binnen een venster slechts een bepaalde variabiliteit toe te staan.

2.4 Tijdreeksmodellering

Tijdreeksmodellering is nodig omdat in de diverse meetnetten maar zelden langer dan 5-8 jaar grondwaterstanden worden gemeten. Het is gebleken dat op basis van uitsluitend dergelijke korte reeksen een vertekend (systematisch te nat of te droog) beeld van de grondwatersituatie ontstaat.

Bij tijdreeksmodellering wordt in een peilbuis de samenhang gemodelleerd tussen het neerslagoverschot en de gemeten grondwaterstanden. Het tijdreeksmodel dat deze samenhang beschrijft wordt daarna toegepast op langjarige reeksen van neerslagoverschotten die door het KNMI zijn gemeten. Hieruit volgen langjarige tijdreeksen van grondwaterstanden die nauw aansluiten op de metingen en representatief zijn voor de klimaatperiode. Deze reeksen kunnen worden samengevat in beschrijvende parameters zoals de GxG en Gt maar ook in de vorm van durlijnen en regimecurves en vormen daarmee de basis voor de kartering van de grondwatersituatie.

De klimaatsrepresentatieve GxG worden dus in peilbuizen berekend uit tijdreeksanalyse, en zijn voor te stellen als de GxG zoals die zou kunnen worden berekend als vanaf heden 30 (hydrologische) jaren de grondwaterstanden zouden worden gemeten op de 14e en 28e van elke maand. In deze 30 jaar zouden dan geen ingrepen in de grondwatersituatie mogen plaatsvinden die buiten het huidige peilbeheer vallen.

GHG, GVG en GLG in OLGA-buizen zijn gedefinieerd op basis van meetreeksen van grondwaterstanden die minimaal 8 jaar bestrijken waarin geen ingrepen hebben plaatsgevonden. In de praktijk is het een probleem om meetreeksen te vinden die aan deze criteria voldoen, omdat grondwaterstandbuizen worden verplaatst, verwijderd of omdat er hydrologische ingrepen hebben plaatsgevonden. Om deze reden worden meetreeksen met een lengte van 4-8 jaar vaak noodgedwongen geaccepteerd. Bovendien kan het voorkomen dat het weer in de afgelopen 4-8 jaar systematisch natter of droger was dan het gemiddelde voor de klimaatperiode, waardoor bijvoorbeeld een GHG wordt onder- of overschat. Uit een analyse van Knotters en Bierkens (1999) blijkt dat reeksen van 4-8 jaar meestal lang genoeg zijn om de samenhang tussen het neerslagoverschot en de grondwaterstand te kunnen modelleren.

Om aan de bezwaren van korte meetreeksen tegemoet te komen, is een methode ontworpen, waarmee met behulp van een meetreeks van 4-8 jaar op een meetlocatie een klimaatsrepresentatieve GHG, GLG en GVG kan worden bepaald. Deze methode gebruikt langjarige (30 jaren en meer) meetreeksen van de neerslag en verdamping, welke landsdekkend beschikbaar zijn, om een relatie tussen tijdreeksen van neerslagoverschotten en gemeten grondwaterstanden te leggen. Die relatie wordt vervolgens toegepast over de gehele tijdreekslengte (30 jaar dus) van neerslagoverschotten om klimaatsrepresentatieve tijdreeksen van grondwaterstanden te genereren, waaruit dan de GHG, GVG en GLG kunnen worden afgeleid (Knotters en Van Walsum, 1994). De berekening van GHG, GVG en GLG verloopt in 2 stappen:

1. per hydrologisch jaar wordt het gemiddelde van de drie hoogste en laagste grondwaterstanden genomen (HG3 resp. LG3), dan wel het gemiddelde van de stand op 14 en 28 maart en 14 april (VG3);
2. de HG3, VG3 en LG3 worden gemiddeld over de 30-jaarsetijdreekslengte.

De relatie tussen neerslagoverschot en grondwaterstand bestaat uit twee gesommeerde componenten: een deterministische component $h_{F,t}$ die het neerslagoverschot koppelt aan de grondwaterstand, en een ruiscomponent ($n_{F,t}-c$). De

relatie wordt daarom transfer-ruismodel genoemd. Het gebruik van alleen de deterministische component zou leiden tot onderschatting van de temporele variabiliteit. Het toevoegen van een ruiscomponent voorkomt dit. Dit is nodig, omdat zowel de GHG als de GLG extreme grondwaterstanden voorspellen. Een onderschatting van de temporele variabiliteit zou leiden tot een te diepe GHG en een te ondiepe GLG.

De algemene vorm van het transfer-ruismodel is:

$$\begin{aligned}
 h_{F,t} &= \sum_{i=1}^r d_i \cdot h_{F,t-i} + \sum_{j=0}^s w_j \cdot P_{e,t-j-b} \\
 (n_{F,t} - c) &= \sum_{k=1}^p f_k (n_{F,t-k} - c) + a_{F,t} - \sum_{l=1}^q q_l \cdot a_{F,t-l} \\
 h_{g,t} &= h_{F,t} + n_{F,t}
 \end{aligned}$$

Hier wordt een vereenvoudigde vorm van het transfer-ruismodel gebruikt waarbij $r=2$, $s=1$, $p=1$, $q=0$ en $b=0$. De deterministische component wordt geschat met (i) de vorige grondwaterstandmeting uit de tijdreeks, (ii) het neerslagoverschot tussen de huidige en de vorige meting. De coëfficiënten δ_i , ω_0 en ω_j zijn de gewichten die aan respectievelijk de vorige grondwaterstandmeting, het voorlaatste en het laatste neerslagoverschot worden toegekend. De ruiscomponent wordt geschat met (i) vorige waarde uit de tijdreeks, (ii) een witte ruiscomponent $a_{F,t}$ voor de laatste meting en (iii) de ruis uit de voorafgaande perioden.

De coëfficiënten van het transfer-ruismodel zijn gecalibreerd met het tijdreeksmodel *Corrente* (Knotters en van Walsum, 1994). De neerslaggegevens zijn voor alle peilbuizen afkomstig van het dichtstbijzijnde meteostation (de volgende 12 stations zijn gebruikt: Aalten, Borculo, Dedemsvaart, Doetinchem, Duiven, Gendringen, Herwen, Lettele, Lichtenvoorde, Lochem, Markelo, Rekken). De referentie-gewasverdamping is afkomstig van het weerstation Vliegbasis Twente

Bij de calibratie van het tijdreeksmodel op een peilbuis worden gemeten grondwaterstanden in deze peilbuis vergeleken met het neerslagoverschot van het dichtstbijzijnde neerslagstation, en dit voor de tijdperiode die de grondwaterstanden bestrijken. Na calibratie van het tijdreeksmodel wordt dit model toegepast op neerslagoverschotreeksen voor de klimaatperiode 1967 tot en met 1996 van dit neerslagstation. Hieruit worden tijdreeksen van grondwaterstanden gegenereerd, welke worden omgezet in GHG, GVG, GLG. Daarnaast wordt de kwaliteit van deze voorspellingen van GxG berekend.

2.5 Naar een set basisgegevens voor de kartering

De set basisgegevens voor de kartering bestaat uit (i) de GxG op puntlocaties; (ii) een indeling in hydrologisch homogene deelgebieden; (iii) een set bestanden met gebiedsdekkende hulpinformatie.

(i) De GxG op puntlocaties kan worden verkregen uit tijdreeksanalyse op meerjarige meetreeksen in peilbuizen, maar dit zijn over het algemeen weinig locaties. Het meetnet wordt verdicht door op uitgekozen tijdstippen op veel locaties grondwaterstanden te meten. Deze metingen kunnen in verband worden gebracht met tegelijkertijd uitgevoerde metingen in peilbuizen. Hierdoor kunnen incidentele metingen toch worden vertaald in een GxG.

(ii) Hoe tot de hydrologisch homogene deelgebieden is gekomen staat beschreven in hoofdstuk 2.2.

(iii) Dit verdichte meetnet is nog niet voldoende dicht voor een gedetailleerde kartering. Daarom worden uit verschillende bestanden hulpbestanden afgeleid met hoge ruimtelijke resolutie (25 x 25 meter). Deze hulpbestanden bevatten informatie over de hydrologische toestand van het gebied. Voorbeelden van dit soort hulpbestanden zijn kaarten van de drooglegging, de afstand tot een ontwateringsmiddel en de drainagedichtheid. De hulpbestanden worden 'AHN+' genoemd.

2.5.1 Van gerichte opnames naar klimaatsrepresentatieve GHG, GVG, GLG

Gerichte opnames zijn grondwaterstandmetingen in boorgaten op vooraf vastgestelde locaties en tijdstippen. De tijdstippen zijn één maal in de winter en één maal in de zomer. Gerichte opnames dienen om het meetnet van grondwaterstanden voldoende te verdichten om een statistische relatie met maaiveldhoogten en daarvan afgeleide eigenschappen te kunnen bepalen. Hiertoe is het nodig dat per deelgebied uit de stratificatie (stratum) ca. 30 locaties beschikbaar zijn. Een aanvullende eis is, dat deze locaties over het deelgebied zelf en over de in het deelgebied voorkomende maaiveldhoogten zijn verspreid, zodat de statistische relatie voor het gehele stratum en de daarin voorkomende maaiveldhoogten voldoende krachtig is.

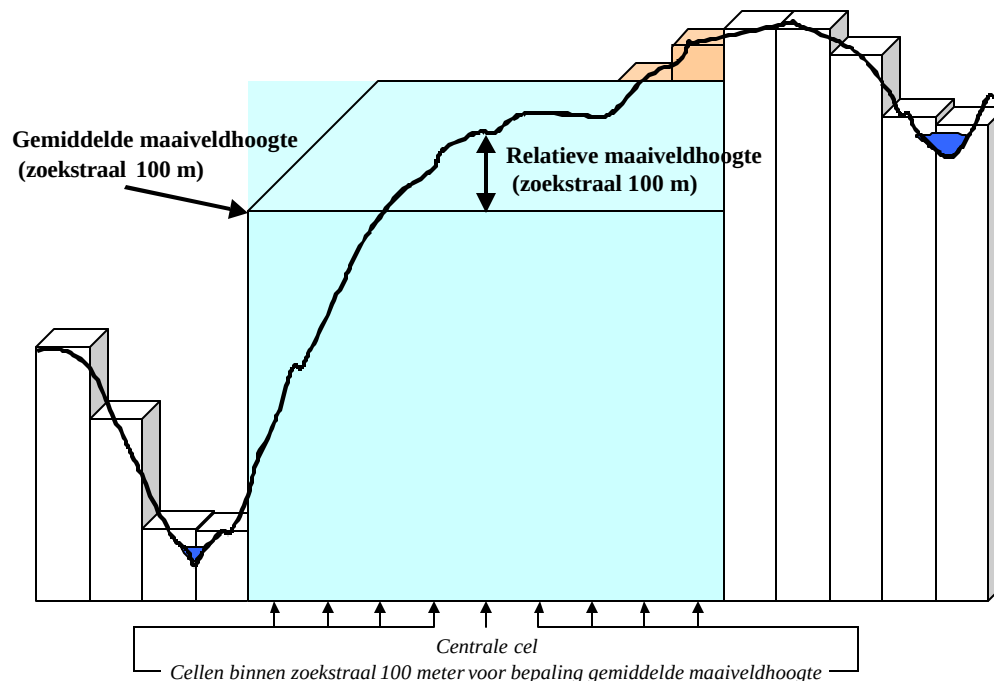
Op de tijdstippen van de gerichte opnames zijn ook grondwaterstanden gemeten in een aantal OLGA-peilbuizen waarvan de GxG is berekend (hoofdstuk 2.3). Hiermee is het mogelijk om in deze buizen voor de dag van de gerichte opname een regressierelatie te bepalen tussen de gemeten grondwaterstand en de berekende GxG. Deze relatie wordt dan toegepast op de gemeten stijghoogten in boorgaten van de gerichte opname, hetgeen resulteert in een voorspelling van de GxG en onzekerheid van deze voorspelling in de vorm van de variantie van de voorspelfout.

2.5.2 Afleiden van vlakdekkende hulpgegevens

Uit het AHN, de Gt-kaart 1: 50.000 en het top10-vectorbestand zijn 8 groepen hulpinformatie afgeleid. Elk van deze groepen hulpinformatie bevat 1 of meer kaarten met daarop hydrologisch relevante parameters. Parameters die als min of meer uitwisselbaar worden beschouwd zijn ondergebracht in 1 groep. De 8 groepen hulpinformatie en de gebiedsdekkende afleiding hiervan worden hieronder kort beschreven. Het AHN met de hulpbestanden worden in het vervolg samen 'AHN+' genoemd.

Groep 1: relatieve maaiveldhoogten

Uit onderzoek (Te Riele en Brus, 1992; Te Riele et al., 1995) is gebleken, dat grondwaterstanden een verband vertonen met de maaiveldhoogte ten opzichte van NAP, en dat er ook een verband kan bestaan met de relatieve maaiveldhoogte. Met relatieve maaiveldhoogte wordt bedoeld het verschil tussen de hoogte in een punt en de gemiddelde hoogte in een gebied binnen een bepaalde straal rond dat punt (Figuur 4). Deze kennis wordt toegepast in het huidige onderzoek. Voor elk punt in het AHN is voor zoekstralen van 100, 200, 300, 400 en 500 meter de relatieve maaiveldhoogte bepaald.



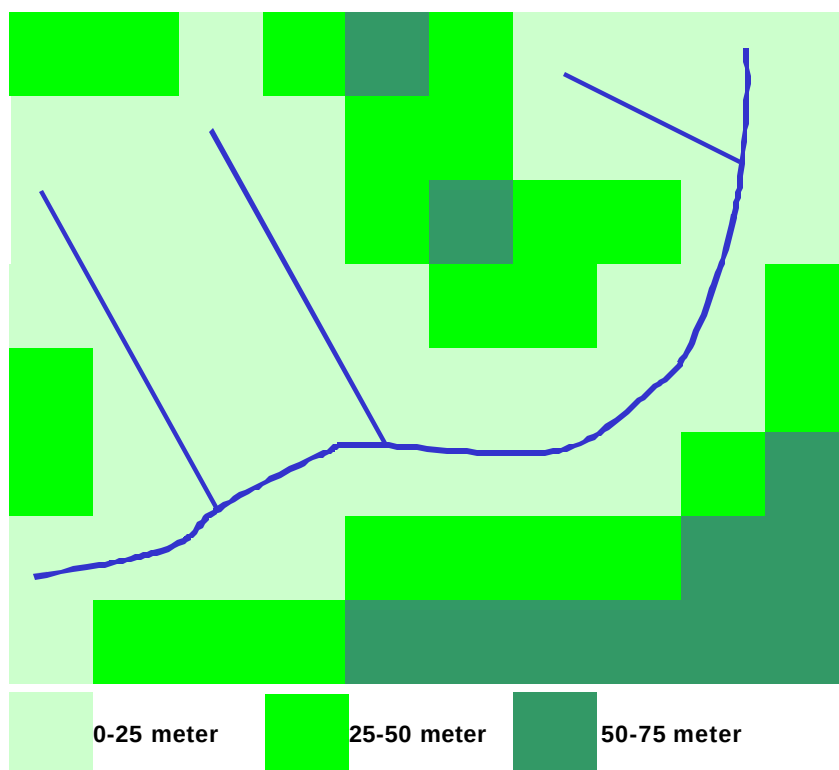
Figuur 4 Bepaling relatieve maaiveldhoogte uit AHN

Groep 2: afstand tot drainagemiddel

Het is bekend dat de grondwaterstand afhankelijk kan zijn van de afstand tot een drainagemiddel. Indien een watergang draineert zal er in meer of mindere mate opbolling van de grondwaterstand ten opzichte van NAP plaatsvinden. Indien via watergangen wordt geïnfiltreerd kan het daarentegen 'negatieve opbolling' het gevolg zijn. Om deze mogelijke effecten te kunnen gebruiken bij de kartering wordt de 'afstand tot waterloop' als hulpvariabele gebruikt.

Uit het top10-vectorbestand zijn alle watergangen geselecteerd. Vervolgens is de 'afstand tot drainagemiddelen' gebiedsdekkend in kaart gebracht door middel van inverse afstand gewogen interpolatie¹. Voor elke cel van het AHN is een waarde geïnterpoleerd (Figuur 5). De tussenafstand van buisdrainage is hierbij niet betrokken omdat deze gegevens ontbreken.

¹ Inverse Afstand Gewogen Interpolatie schat de waarde op een onbezochte lokatie met bekende waarden in de omgeving van die lokatie. Elke bekende waarde krijgt hierbij een gewicht dat groter is als de waarde dichtbij de onbezochte lokatie ligt, en minder groot bij grotere afstand.

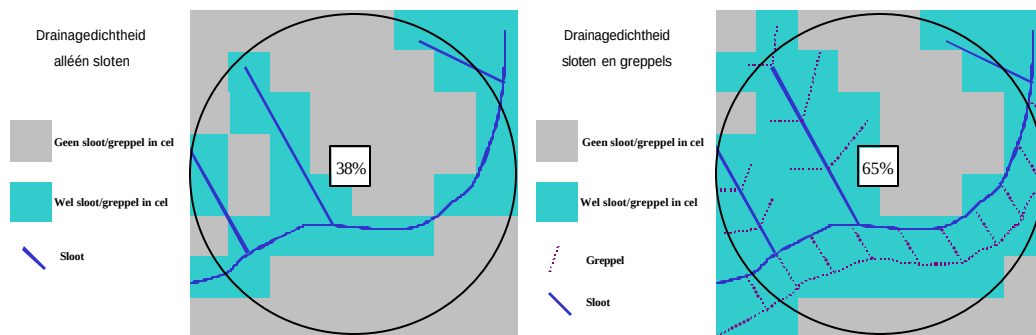


Figuur 5 Bepaling 'afstand tot waterloop'

Groep 3: drainagedichtheid

De dichtheid waarmee een gebied is ontwaterd beïnvloedt de grondwaterstand (met name de GHG, maar indien er sprake is van waterinlaat ook de GLG). Om dit effect te kunnen gebruiken bij de kartering wordt de drainagedichtheid gebiedsdekkend geschat en gebruikt als hulpinformatie.

Uit het top10-vectorbestand zijn alle watergangen geselecteerd. Hiervan zijn 2 bestanden gemaakt: een lijnenbestand met alle watergangen ('sloot en greppel') en een bestand waar de detailontwatering uit is verwijderd ('alléén sloot'). Voor elke 25x25 meter cel is in een GIS bepaald hoeveel naburige cellen er binnen een zoekstraal van 100, 200, 300, 400 en 500 meter vallen met daarbinnen een waterloop. Hieruit volgt een indicatie van de drainagedichtheid met 'alléén sloot' en 'sloot en greppel'.



Figuur 6 Bepaling drainagedichtheid

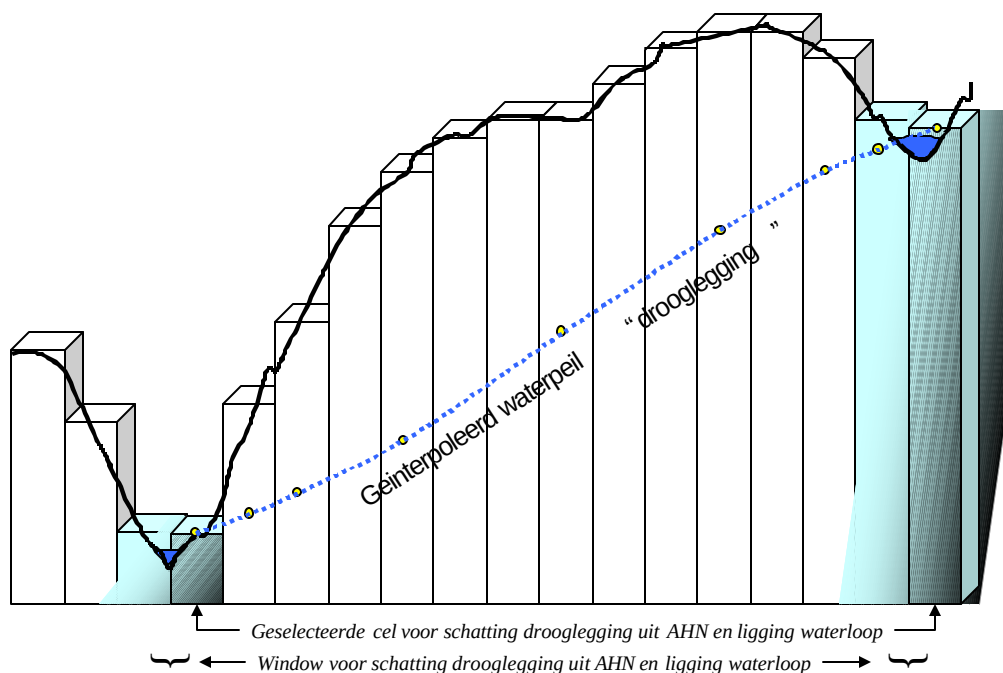
Groep 4: drooglegging ten opzichte van maaiveld

De drooglegging is het verwachte effect van het peilbeheer en de waterlopeninfrastructuur op de grondwaterstand. Een gebiedsdekkende schatting van de drooglegging zal daarom naar verwachting nuttige hulpinformatie opleveren bij een grondwaterkartering.

Uit een combinatie van de gedigitaliseerde waterlopen uit het Top10-vectorbestand en het AHN is een bestand afgeleid waar per 25x25 m pixel de drooglegging is bepaald (Figuur 7). Dit is gebeurd in 3 stappen:

1. in elk segment van een watergang is een peil ten opzichte van NAP bepaald uit de waarde van het laagst gelegen punt van het AHN in de directe omgeving van de watergang;
2. deze drooglegging ten opzichte van NAP is gebiedsdekkend in kaart gebracht door middel van inverse afstand gewogen interpolatie;
3. door deze kaart af te trekken van die van de maaiveldhoogte uit het AHN is de drooglegging als diepte ten opzichte van maaiveld gebiedsdekkend vastgelegd.

De op deze wijze bepaalde drooglegging geeft waarschijnlijk een systematisch te nat beeld van de drooglegging, omdat het peil geschat in stap 1 in het algemeen op hoogtecijfers van de lagere oeverdelen is gebaseerd, en niet op het waterpeil zelf. De uit bovenbeschreven aanpak afgeleide drooglegging zijn vergeleken met door het Waterschap verstrekte droogleggingsgetallen in deelgebied 51 (dekzand op Eemklei, ten zuiden van Borculo). De beide getallen kenden in dit gebied een constant verschil (60 cm) en waren sterk gecorrelleerd (R^2 95%). Dit maakt de bovenbeschreven aanpak goed geschikt om de drooglegging te schatten. Een constant verschil (tussen geschatte drooglegging en die tgv zomer- en winterpeil) is namelijk bij de vervolgstappen geen probleem, omdat dit verschil onderdeel wordt van de constante van het regressiemodel van het maaiveld, en dus de kwaliteit van dat regressiemodel niet nadelig beïnvloedt. De aldus verkregen droogleggingkaart is als hulpinformatie gebruikt in het vervolg van het onderzoek.



Figuur 7 Schatting van de drooglegging.

Groep 5: drooglegging op basis van rivierpeil ten opzichte van maaiveld en maaiveld ten opzichte van NAP

Uit langjarige rivierpeilen op verschillende punten in de Rijn en de IJssel is een gemiddelde zomerstand en een gemiddelde winterstand afgeleid analoog aan de GHG en GLG. Deze gemiddelde standen zijn ten opzichte van NAP en geven een geleidelijk verloop van het rivierpeilen in de lengterichting van de rivier. De gemiddelde rivierpeilen kunnen met behulp van het AHN worden uitgedrukt ten opzichte van maaiveld. De aldus verkregen variabele is als hulpinformatie gebruikt bij de kartering. Aangezien het rivierpeil over het algemeen een zwak hellend trendvlak is, heeft deze informatie een sterke overeenkomst met de absolute maaiveldhoogte. De absolute maaiveldhoogte uit het 25x25 meter AHN is daarom in de zelfde groep van hulpinformatie opgenomen.

Groep 6: de GHG en GLG uit de huidige Gt-kaart 1 : 50 000

De huidige Gt-kaart 1: 50 000 is weliswaar verouderd, maar geeft mogelijk de ruimtelijke variatie in GHG en GLG nog wel goed weer. Als dat het geval is, zullen mogelijk de GHG_{oud} en GLG_{oud} , afgeleid uit de Gt-kaart, na een correctie de actuele GxG goed kunnen voorspellen. Om die reden is de 1: 50 000 Gt-kaart omgezet in kaarten van de GHG_{oud} en GLG_{oud} . Hierbij is als vertaalsleutel de karakterisatie van Gt's door Van der Sluijs (1982, 1990) gebruikt.

Tabel 1 Omzetting van Gt op bodemkaart 1 : 50 000 naar GHG en GLG.

Gt op kaart	GHG _{Goud}	GLG _{Goud}
I	-5	38
II	7	66
II*	32	68
III	17	103
III*	32	102
IV	56	104
V	17	135
V*	32	142
VI	61	455
VII	101	190
VII*, VIII	185	281

2.6 Naar een vlakdekkende beschrijving van de grondwatersituatie

Het karteren van de GxG vindt plaats in 2 stappen. De eerste stap bestaat uit het leggen van een verband met 8 groepen gegevens uit het 'AHN+' en het daarna gebiedsdekkend toepassen van de gevonden statistische relaties. Het AHN+ bestaat uit 5 kaarten met relatieve maaiveldhoogten, de kaart met de afstand tot drainagemiddelen, 10 drainagedichtheidkaarten, 1 droogleggingkaarten, 1 kaart met absolute maaiveldhoogten, en kaarten van de GHG en de GLG afgeleid uit de bestaande 1 : 50 000 Gt-kaart.

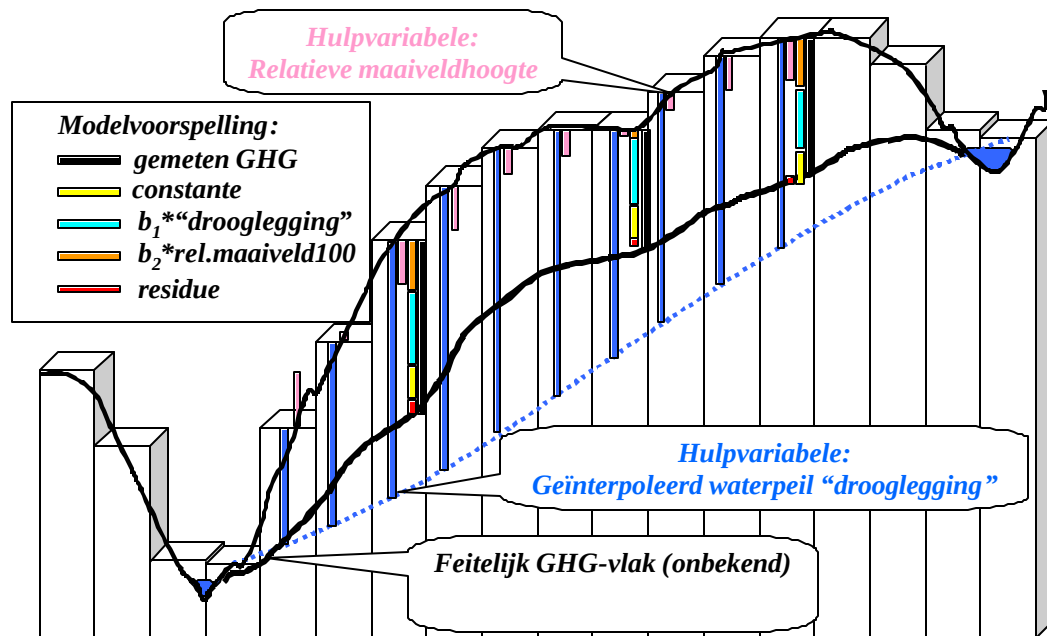
De tweede stap dient om de kwaliteit van de GxG-schattingen te verbeteren, en karteert de verschillen tussen GxG-schattingen (stap 1) en metingen (uit **actualisatiegegevens**). Uit optelling van de kaarten uit stap 1 en 2 volgen de definitieve kaarten van de GxG.

Als de GxG eenmaal gekarteerd is, kunnen ook duurlijnen, regimecurves en de kwelsterkte in kaart worden gebracht. Voor punten uit de regimecurve, een beschrijvende functie voor de duurlijn en de kwelsterkte worden relaties gezocht waarmee ze kunnen worden voorspeld uit reeds gekarteerde grootheden (de GxG en de hulpinformatie). Dit gebeurt op de locaties van de peilbuizen. De gevonden relaties worden vervolgens gebiedsdekkend toegepast.

2.6.1 GHG, GVG, GLG en Gt

Bij het omzetten van puntinformatie naar vlakinformatie wordt uitgegaan van de **actualisatiegegevens** bestaande uit (i) GxG puntinformatie, met de variantie van de voorspelfout als kwaliteitsindicator; (ii) een onderverdeling in deelgebieden; (iii) het AHN+. Dit gebeurt in 2 stappen. Beide stappen worden hieronder in detail beschreven.

$$\text{Model: } \text{GHG} = \text{constante} + b_1 * \text{"drooglegging"} + b_2 * \text{rmv100} + \text{residue}$$



Figuur 8 Voorbeeld van toepassing regressiemodel (stap 1) en bepaling residuen (stap 2) tbv de kartering van de GHG

Opstellen relaties tussen hulpinformatie en GxG (stap 1)

In de eerste stap van de kartering van de GxG en Gt worden regressiefuncties gezocht die – bijvoorbeeld – de GHG voorspellen uit hulpinformatie. Eerst wordt onderzocht hoe deze functies er uit zien (welke hulpinformatie is er belangrijk in een deelgebied). Vervolgens worden de functies precies ingevuld en gebiedsdekkend toegepast. Zie ook Figuur 8 voor een voorbeeld waarbij de regressieparameters b_1 en b_2 en de constante worden gefit op GHG-metingen, de drooglegging en de relatieve maaiveldhoogte (zoekstraal 100 meter). In de figuur is de GHG op 3 locaties gemeten. Op deze 3 locaties kan de GHG worden geschat met een constante, een factor b_1 *drooglegging en een factor b_2 *relatieve-maaiveldhoogte. Dit regressiemodel kan gebiedsdekkend worden toegepast, want relatieve maaiveldhoogte en drooglegging zijn ook gebiedsdekkend bekend. Dit regressiemodel is echter niet perfect. Op de meetlocaties treden er verschillen op tussen de gemeten waarden en het toegepaste regressiemodel. Deze 'residuen' worden op de locaties van de GHG-metingen vastgesteld en in stap 2 vlakdekkend geïnterpoleerd.

Stapsgewijs worden de volgende handelingen verricht:

- a) Voor elk stratum met GHG, GVG en GLG-observaties wordt achtereenvolgens het volgende gedaan:
 - a1) Door regressie-analyse wordt bepaald welke van de parameters uit het AHN+ een statistisch verband hebben met bijvoorbeeld de GHG. Hiervoor wordt het pakket GENSTAT (Goedhart en Thissen, 1992) gebruikt. Uit elk van de 8 groepen parameters mag slechts één parameter meedoen, omdat de parameters onderling voor een deel uitwisselbaar zijn.
 - a2) Met de parameters die dan overblijven wordt de statistische relatie bepaald waarmee de GHG op andere locaties van het AHN kan worden geschat. Bij bepalen van de regressievergelijkingen krijgen nauwkeurige waarnemingen (lage voorspelfouten) een groter gewicht dan onnauwkeurige waarnemingen.

Stap a1 en a2 worden herhaald voor de GVG en de GLG, en voor alle deelgebieden (strata) die aan het begin van het onderzoek zijn onderscheiden.

- b) Met de statistische relaties worden op de locaties van het AHN de GHG, GLG en GVG berekend. De gemiddelde fout (in cm²) van de GHG, GLG en GVG wordt, gegeven de gebruikte waarden uit het AHN+, per pixel berekend met de volgende matrixvergelijking:

$$VAR_{regpars} = MSres \cdot (x_0' \cdot (X' \cdot W \cdot X)^{-1} \cdot x_0)$$

Indien alleen een regressiemodel zou worden toegepast, moet bij bovenstaande berekening *MSres* (de restvariantie van het regressiemodel waarmee GHG wordt voorspeld) worden opgeteld om de totale onzekerheid te kwantificeren. In dit onderzoek wordt echter nog een statistische foutcorrectie uitgevoerd waarmee wordt bereikt dat een getal kleiner dan *MSres* wordt opgeteld en de onzekerheid dus kleiner wordt (zie stap 2, onderdeel f).

In bovenstaande vergelijking is $(x_0' \cdot (X' \cdot W \cdot X)^{-1} \cdot x_0)$ een maat die het effect van de onzekerheid van de regressieparameters weergeeft. Hierin is x_0 een (k+1) vector met k verklarende variabelen van het gebruikte regressiemodel en een constante op een nieuwe locatie; X is een (n*(k+1)) matrix met (k+1) verklarende variabelen als kolommen en n waarnemingen waarop de relatie is bepaald als rijen; W is de (n*n) matrix met de gewichten die aan elke waarneming wordt toegekend.

Deze gewichten W zijn nodig omdat de kwaliteit van de puntwaarnemingen varieert. Een GHG schatting uit een gemodelleerde tijdreeks in een peilbuis is van betere kwaliteit dan een dito schatting uit een gerichte opname. De gewichten volgen uit de varianties van de voorspelfouten ten gevolge van de stambuisregressie of de tijdreeksanalyse bij de afzonderlijke puntwaarnemingen.

Toepassen relaties en foutcorrectie (stap 2)

In stap 2 wordt gekeken naar de afwijkingen die in meetpunten bestaan tussen de meting van de GxG (uit de gerichte opname) en de schatting van de GxG (uit stap 1). Deze afwijkingen noemen we *residuen*. Als wordt vastgesteld dat deze residuen een ruimtelijke structuur vertonen, dwz. dat deze in deelgebiedjes systematisch positief en in andere deelgebiedjes systematisch negatief zijn, dan kunnen deze residuen eveneens worden gekarteerd. Uit optelling van de gekarteerde residuen en de reeds gekarteerde GxG uit stap 1 kan dan een nieuw gebiedsdekkend bestand worden gemaakt met een hogere nauwkeurigheid dan dat uit stap 1.

De volgende activiteiten vinden achtereenvolgens plaats:

- a) Berekening van het verschil tussen de GxG uit de regressie met het AHN en de GxG uit de gerichte opname met:

$$GxG_{geropn} - GxG_{reg} = residu_{reg}$$

- b) Standaardisering (op elke locatie van de gerichte opname) van het residu met de (ongewogen) restvariantie *MSres* van het regressiemodel volgens de vergelijking:

$$residu_{reg} / v(MSres_{reg}) = residu_{standaard}$$

Deze standaardisering is nodig, omdat de variantie van de voorspelfout van het regressiemodel tussen de strata kan verschillen omdat per stratum andere

regressiemodellen zijn bepaald. Niet toepassen van de standaardisering zou later tot te grote correcties leiden in strata met een goed regressiemodel en te lage correcties in strata met een minder goed regressiemodel.

- c) Bepaling van het semivariogram van de gestandaardiseerde residuen op de locaties van de gerichte opnamen. Dit variogram wordt geschaald zodat de som van 'nugget' en 'sill' gelijk is aan 1.
- d) Toepassing van de interpolatiemethode *kriging*² op de gestandaardiseerde residuen van de gerichte opnamen.
- e) De-standaardisering van de krigingvoorspellingen $Pred_{krig}$ op alle pixels in een stratum met de vergelijking:

$$Pred_{kriging, standaard} * v(MSres) = Pred_{kriging}$$

Tevens de-standaardiseren van de krigingvarianties (Var_{krig}) per stratum met de vergelijking:

$$Var_{kriging, standaard} * MSres = VAR_{kriging}$$

- f) Bepaling van de GxG voorspelling door de kriging voorspelling en de regressie voorspelling te sommeren:

$$GxG_{pred} = GxG_{regressie} + Pred_{kriging}$$

Tevens berekening van de totale onzekerheid (in cm) op alle pixels door sommatie van de 2 foutcomponenten:

$$s = \sqrt{VAR_{regrpars} + VAR_{kriging}}$$

Hiermee is een nieuwe GxG-kaart gemaakt, die op de precieze locatie van de GxG-waarnemingen deze GxG-waarden exact reproduceert (kleine verschillen kunnen optreden als de locaties niet in het midden van een AHN-gridcel liggen). Tevens is de onzekerheid gekwantificeerd.

Nabewerking

GxG voorspellingen rond stratum grenzen zijn gecorrigeerd indien een sprong in het freatisch vlak (ten opzichte van NAP dus) werd vastgesteld. Hierbij is in GIS een smoothing algoritme³ toegepast. De Gt volgt direct uit de combinatie van GHG en GLG.

2.7 Validatie

Op de GxG-kaarten die op bovenbeschreven wijze zijn geproduceerd, is een kwaliteitstoets uitgevoerd. Hiervoor zijn de 92 GHG, GVG en GLG-puntmetingen

² Kriging is een interpolatiemethode die op onbezochte locaties de waarde van een attribuut voorspelt met behulp van de meest nabij gelegen waarnemingen (hier: gestandaardiseerde residuen) en het semivariogram. In dit onderzoek is de methode *simple kriging* toegepast, en zijn voor elke voorspelling de 12 dichtstbijzijnde waarnemingen gebruikt. Het semivariogram is voor de gestandaardiseerde residuen van GHG, GVG en GLG bepaald.

³ Hierbij is de waarde van alle cellen binnen een afstand van 125 meter van de stratumgrens vervangen door het gemiddelde van de 25 dichtstbijzijnde cellen. Hierdoor 'vervlakt' een sprong. Het smoothing algoritme wordt alleen toegepast als er bij de stratumgrens een freatische gradiënt van meer dan 1% optreedt.

gebruikt die niet bij de kartering zijn betrokken (een onafhankelijke dataset). Deze puntmetingen zijn representatief⁴ over het gehele gebied verdeeld. Doel van de validatie is tweeledig: (i) voor het gebied als geheel een kwaliteitsbeoordeling van de gemaakte kaarten te geven, (ii) deze kwaliteit te vergelijken met de variantie van de voorspelfout uit de kartering (sectie 2.5.2, stap h).

ad i). De kwaliteitsbeoordeling van de gemaakte kaarten geschiedt op 2 manieren: ten eerste door de GxG-puntmeting uit de validatieset te vergelijken met de GxG die volgt uit de kaarten op die locatie. Het verschil in centimeters wordt gebiedsdekkend uitgedrukt met de vierkantswortel uit de gesommeerde kwadratische verschillen (de RMSE):

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (G\hat{x}G_i - GxG_i)^2}$$

daarnaast is gekeken of er systematisch verschil tussen kaart en validatiewaarnemingen is. Hiertoe is het gemiddelde verschil (ME) berekend:

$$ME = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (GxG_i - G\hat{x}G_i)$$

waarbij i =de locatie, $G\hat{x}G_i$ = de gekarteerde GxG, GxG_i =de gemeten GxG en n =het aantal validatielocaties. Ten tweede is gekeken hoe de Gt op de kaart correspondeert met de Gt op de validatiepunten. Ter illustratie is ook de bestaande Gt-kaart 1 : 50.000 op deze locaties vergeleken met de gemeten Gt.

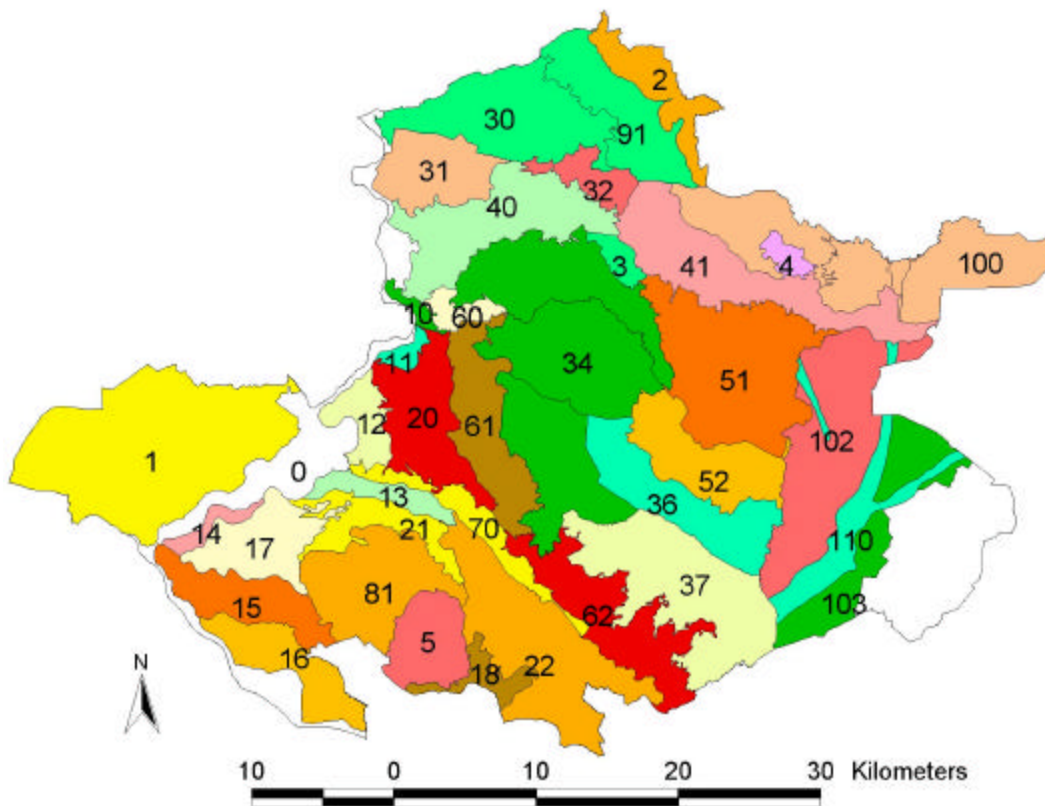
ad ii). Het verschil tussen gekarteerde en gemeten GxG op een locatie kan daarnaast worden vergeleken met de op die locatie eveneens gekarteerde nauwkeurigheid van de GxG. Hiertoe is de RMSE vergeleken met de gemiddelde standaardafwijking van de voorspelfout op de validatiepunten. Uit deze activiteit blijkt of de kaartkwaliteit tijdens de kartering te optimistisch of te pessimistisch is ingeschat.

⁴ De stuwwallen zijn buitenbeschouwing gelaten.

3 Resultaten

3.1 Gebiedsindeling

Binnen het beheersgebied van Waterschap Rijn en IJssel zijn 3 geohydrologische hoofdeenheden onderscheiden: Het rivierengebied, het zandgebied en het Oostnederlands plateau. Tabel 2 geeft een korte omschrijving van de bij de stratificatie onderscheiden 37 deelgebieden en de aantallen observaties die daar gedurende het veldwerk zijn gedaan in de vorm van zomer- en wintergrondwaterstandmetingen. In totaal zijn ongeveer 1000 locaties elk 2 maal bezocht. 91 locaties zijn apart gehouden voor de validatie. De deelgebiedsindeling is ook gegeven in Figuur 9.



Figuur 9 Indeling in deelgebieden

Tabel 2 Deelgebieden onderscheiden bij de stratificatie

Gebied	Omschrijving	Oppervlakte (ha)	Aantal observatiepunten	
			kartering	validatie
1	Stuwwal Postbank	14939	16	0
2	Stuwwal Markelo	2847	20	0
3	Stuwwal Lochem	759	19	0
4	Stuwwal Neede	662	19	0
5	Stuwwal Montferland	3151	20	0
10	Jonge Rivierklei omgeving Zutphen	418	20	0
11	Jonge Rivierklei Zutphen-Doesburg	488	20	0
12	Jonge Rivierklei Doesburg	1801	20	1
13	Jonge Rivierklei Doetinchem-Doesburg	1412	20	1
14	Jonge Rivierklei Westervoord-Noord	725	19	0
15	Jonge Rivierklei langs de Rijn omgeving Zevenaar	3576	18	3
16	Jonge Rivierklei Rijnstrangen	3427	21	3
17	Komklei ten Westen van Montferland	3796	20	2
18	Komklei ten Oosten van Montferland	1237	20	1
20	Oude Rivierklei gebied Oude IJssel Noord	4834	20	3
21	Oude Rivierklei gebied Oude IJssel West	2561	20	2
22	Oude Rivierklei gebied Oude IJssel Zuid	8808	20	5
30	Zand Bathmen	6965	25	4
31	Zand Gorssel	3661	22	2
32	Zand Laren	1569	26	1
34	Zand Ruurlo-Zuid	18274	81	10
36	Zand Groenlo-Zuid	5248	20	3
37	Zand Varsseveld	9082	20	5
40	Westelijk Berkeldal	6665	63	4
41	Oostelijk Berkeldal	7232	20	4
51	Midden Zand/Eemkleigebied	9675	21	5
52	Zuidelijk Zand/Eemkleigebied	4707	19	3
60	Noordelijk Overgangsgebied zand/rivierklei	886	20	
61	Midden Overgangsgebied zand/rivierklei	4842	20	3
62	Zuidelijk Overgangsgebied zand/rivierklei	5576	20	3
70	Rug Keppel	2213	20	1
81	Zandgebied Didam-Wehl	5794	20	3
91	Kwelgebied onder stuwwal Markelo	4726	20	3
100	Oost Nederlands Plateau, Haaksbergen	10199	86	6
102	Oost Nederlands Plateau, West	8846	50	5
103	Oost Nederlands Plateau, Oost	4470	38	3
110	Oost Nederlands Plateau, Geulen In Ondergrond	3450	30	2
Totaal		179523	973	91

3.2 Klimaatsrepresentatieve GxG

Tabel 3 geeft een overzicht van de resultaten van de tijdreeksmodellering in 49 bruikbare OLGA-peilbuizen binnen het beheersgebied. Met 'bruikbaar' wordt hier bedoeld (i) in het veld voor wat betreft ligging en representativiteit goedgekeurde buizen; (ii) met een meetreeks van voldoende lengte (meerdere jaren onafgebroken gemeten, zonder ingrepen) en frequentie (18-24 metingen per jaar) en doorlopend tot minimaal 1997. De

GxG bepalingen in de peilbuizen zijn nauwkeurig blijkend uit de standaardafwijking van de voorspelfout die in het algemeen rond de 2 cm is en niet groter dan 6 cm.

Tabel 3 Resultaten tijdreeksmodellering op bruikbare peilbuizen.

Buis	P-station	Parameters tijdreeksmodel							GHG (cm)		GLG (cm)		GVG (cm)	
		d ₁	d ₂	γ ₀	γ ₁	f ₁	c	s ² a		sd		sd		sd
33FL0019	Lochem	0.8167		6.9147	2.7358	0.5271	-97.5653	153.6	61	2	136	2	85	2
33FL0025	Lettele	0.8289		8.2134	1.8007	0.6454	-118.3935	143.2	73	2	168	2	99	2
33FL0070	Lettele	0.9211		5.6300		0.8513	-169.0905	77.0	126	2	214	3	143	3
33FP0099	Lettele	0.7969		7.5480		0.7423	-183.5583	85.4	137	2	235	2	163	2
33GL0026	Doetinchem	0.8763		6.2181		0.5826	-187.6063	325.5	134	3	240	2	161	3
33HL0003	Lochem	0.9166		4.9931	3.7673	0.2502	-128.5266	90.1	106	1	150	1	124	1
33HL0008	Lochem	0.8264		4.2228		0.5833	-134.5401	148.6	100	2	171	2	120	2
33HL0017	Doetinchem	0.6368		3.7848		0.4887	-85.4518	111.0	60	1	111	2	80	2
33HL0026	Doetinchem	0.8399		3.6234		0.2824	-180.0140	139.2	150	1	210	1	167	2
33HP0144	Lochem	0.8589		4.5485		0.5640	-144.8117	231.4	103	2	186	2	127	3
34AL0004	Markelo	0.9082		7.6246		0.6379	-173.6374	197.8	115	2	235	2	139	2
34AP0084	Lettele	0.7862		9.9781	3.5903	0.4949	-87.6628	201.4	41	2	138	2	73	2
34BP0057	Markelo	1.7422	-0.7574	4.4668	2.4209	0.8578	-280.3430	190.6	214	5	343	4	240	4
34BP0077	Borculo	0.8205		7.4516	1.8373	0.5020	-93.7661	114.5	53	1	138	2	76	2
34CL0001	Lochem	0.8474		8.3060	2.5814	0.4533	-121.2598	219.7	75	2	172	2	102	2
34CL0010	Borculo	0.6448	0.1293	7.2354		0.4867	-159.1366	148.6	115	2	207	2	140	2
34CL0011	Lochem	0.8018		6.8670		0.6288	-87.0011	146.9	41	2	138	2	66	2
34CL0024	Borculo	0.8844		7.9985	1.9391	0.6495	-127.8645	96.4	81	2	177	2	102	2
34CL0064	Doetinchem	1.2728	-0.3267	5.2669		0.8387	-256.1862	138.1	194	4	316	3	215	4
34CL0065	Lochem	0.9092		5.3160		0.4910	-266.5826	98.4	225	2	311	1	242	2
34DL0013	Borculo	0.9866		5.4139		0.7828	-76.6315	165.9	42	3	128	3	48	4
34DL0020	Lichten- voorde	0.5070	0.2173	8.5060		0.6443	-76.5834	145.1	32	2	126	2	60	2
34DL0118	Borculo	1.6494	-0.6692	4.3162	3.8113	0.3854	-139.5620	50.1	113	1	168	1	128	1
34DP0155	Borculo	0.8235		6.7001	3.1427	0.4371	-101.1935	149.7	67	2	136	1	91	2
34FL0015	Rekken	0.5905	0.2004	8.0346		0.4749	-84.5243	191.5	40	2	135	2	64	2
34GL0007	Rekken	0.8276		8.5697	3.4848	0.3046	-115.8530	134.1	78	1	159	1	102	1
34GL0009	Rekken	0.8161		5.8522	2.4599	0.4908	-103.9745	92.1	76	1	134	1	95	2
34GL0013	Rekken	0.8719		6.0946		0.6538	-111.7426	117.0	69	2	159	2	88	2
34GL0018	Lichten- voorde	0.7878		7.0560		0.4492	-94.5516	260.4	47	2	147	2	75	2
34GL0020	Rekken	0.6488	0.2155	6.5566		0.7723	-119.9063	99.9	80	2	164	2	98	2
40BL0015	Duiven	0.7049		5.6072		0.8317	-125.6016	189.2	85	3	169	4	116	4
40DL0036	Herwen	0.9314		9.0985		0.6744	-241.9549	733.5	162	6	328	4	200	6
40EL0017	Duiven	0.8360		4.0390	2.5139	0.3849	-158.5825	88.9	137	1	179	1	154	1
40FL0019	Doetinchem	0.9500		3.0725	2.0193	0.3795	-92.1573	55.4	76	1	108	1	87	1
40FL0020	Doetinchem	0.9089		6.5365	3.1345	0.2436	-137.0449	89.8	105	1	169	1	122	1
40FL0077	Doetinchem	1.0236	-0.1131	4.1202		0.7630	-167.0804	37.0	133	1	202	1	145	2
40FP0095	Doetinchem	0.9097		5.5726	1.8940	0.4591	-142.8878	90.8	111	1	176	1	126	2
40GL0045	Herwen	0.9345		6.9932		0.7386	-208.2291	446.0	145	5	280	4	176	5
40GL0046	Herwen	1.6235	-0.6442	2.6479		0.7969	-268.9846	356.5	201	6	331	4	231	5
40HL0002	Doetinchem	0.9765		3.3687		0.5294	-175.0510	196.6	139	2	210	2	156	2
41AL0036	Doetinchem	0.8805		8.6090		0.7673	-154.0519	218.6	89	3	220	3	117	4
41AL0059	Doetinchem	0.8797		3.7571		0.6904	-187.6629	83.3	157	2	219	2	171	2
41BL0009	Lichten- voorde	0.7841		7.9586	2.2238	0.3679	-91.2050	170.9	51	1	136	2	77	2

Buis	P-station	Parameters tijdreeksmodel							GHG (cm)		GLG (cm)		GVG (cm)	
		d ₁	d ₂	τ_0	τ_1	f ₁	c	s ² a		sd		sd		sd
41BL0017	Aalten	0.8861		6.8793		0.7595	-132.3648	193.8	80	3	189	3	104	4
41BL0021	Lichten- voorde	0.4865	0.2243	10.9197		0.5719	-172.0272	220.7	116	2	233	2	151	2
41BL0050	Lichten- voorde	0.9160		5.5024		0.8294	-161.0850	108.8	117	3	209	3	136	3
41CL0031	Gendringen	0.8904		8.0878	2.2330	0.5977	-143.6182	221.5	100	2	195	2	123	2
41CP0019	Aalten	0.8389		7.0044		0.6171	-188.5776	286.1	137	3	244	3	165	3
41DL0013	Aalten	0.8025	0.0919	7.6715		0.8164	-144.8897	97.4	94	3	200	3	115	3

3.3 Kartering

3.3.1 Gerichte opnames

De in het veld gemeten grondwaterstanden (waarvan een in de zomer en een in de winter is gemeten) zijn per meetdatum omgezet naar een GHG, GVG en GLG-schatting op basis van hiertoe opgestelde regressievergelijkingen. Deze regressievergelijkingen zijn bepaald op OLGA-buizen. Voor het rivierengebied, het zandgebied en het Oostnederlands plateau zijn aparte regressierelaties opgesteld. Bij de omzetting van gemeten standen naar GxG is per meetlocatie telkens de best presterende regressierelatie gebruikt die voor de meetdata beschikbaar was. Resultaten zijn vermeld in Tabel 4. De standaardfout van de regressie ligt tussen de 5 en 13 cm. Dit is, vergeleken met eerdere studies, erg nauwkeurig, en wordt veroorzaakt door het feit dat meettijdstippen zijn geselecteerd op basis van de kwaliteit van regressierelaties. Dit was mogelijk omdat personeel van het Waterschap aan het begin van de meetcampagnes wekelijks standen in een selectie van OLGA-buizen opmat, welke binnen een dag werden geanalyseerd. Bij een gunstige analyse (en een gunstige weersverwachting) werd de meetcampagne gestart.

Tabel 4 Regressierelaties gebruikt om gemeten grondwaterstanden om te zetten in GHG, GVG en GLG.

Variable	Meetdatum	Constante (cm)	Factor * gemeten stand	Extra constante (cm) indien in rivier-gebied	Extra constante (cm) indien in zand-gebied	Extra factor * gemeten stand indien in riviergebied	Extra factor * gemeten stand indien in zandgebied	Standaardfout (cm)
GHG	97aug19	-46.4	0.7961	28	0	0	0	21.90
GHG	97aug21	-46.9	0.7931	28.92	0	0	0	22.00
GHG	97aug26	-14	0.6131	39.05	0	0	0	16.40
GHG	97aug27	-42.9	0.7839	28.07	0	0	0	21.90
GHG	97sep4	7.6	0.524	24.5	0	0	0	20.00
GHG	98feb19	-1.23	0.7276	0	0	0	0	16.60
GHG	98mrt4	24.44	0.654	0	0	0	0	16.20
GHG	98apr1	-25.11	1.0435	51.7	0	-0.4141	0	14.70
GVG	97aug19	-28.6	0.8228	28.23	0	0	0	19.90
GVG	97aug21	-29.3	0.8207	29.19	0	0	0	19.90
GVG	97aug26	-5.5	0.6999	36.01	0	0	0	13.10
GVG	97aug27	-24.7	0.807	28.66	0	0	0	20.00
GVG	97sep4	9	0.637	26.31	0	0	0	16.80
GVG	98feb19	20.48	0.7361	0	0	0	0	13.60
GVG	98mrt4	47.63	0.6551	0	0	0	0	14.60
GVG	98apr1	2.93	0.9997	37.7	0	-0.3099	0	12.70
GLG	97aug19	-2.4	1.0624	0	0	0.1164	0	19.60
GLG	97aug21	-3.6	1.0615	0	0	0.1212	0	19.00
GLG	97aug26	0.2	1.0923	21.52	0	0	0	14.00
GLG	97aug27	1.77	1.0437	0	0	0.1219	0	18.50
GLG	97sep4	12.8	1.0087	0	0	0.1194	0	15.70
GLG	98feb19	69.22	0.8839	-45.3	0	0.201	0	17.00
GLG	98mrt4	103.37	0.7665	-44.8	0	0.23	0	19.80
GLG	98apr1	62.88	1.0683	-19.3	0	0	0	22.00

3.3.2 Relaties tussen hulpinformatie en GxG

De regressiefuncties die per deelgebied zijn bepaald op maaiveldgerelateerde variabelen (samen 'AHN+' genoemd) zijn voor GHG, GVG en GLG gegeven in bijlage 1. De voorspellende variabelen die het vaakst zijn geselecteerd zijn de drooglegging en de absolute maaiveldhoogte.

3.3.3 Foutcorrectie en nabewerking

Tijdens de foutcorrectie is op de meetpunten van GHG, GVG en GLG het verschil tussen de meetwaarde en de voorspelde waarde van de regressiefuncties bepaald. Dit verschil is gebiedsdekkend geïnterpoleerd volgens de methode beschreven in paragraaf 2.5.2. De hiervoor gebruikte variogram-modellen en –parameters zijn gegeven in Tabel 5. De variogrammen lijken sterk op elkaar; dit komt omdat ze zijn geschaald zodat $\text{Nugget} + \text{Sill} = 1$ (paragraaf 2.5.2). De maximale afstand waarop GxG-residuen ruimtelijk zijn gecorreleerd ligt tussen de 500 en 600 meter.

Tabel 5 Variogramparameters voor foutcorrectie

Parameter	Variogrammodel	Nugget (-)	Sill (-)	Range (meter)
GHG	Sferisch	0.68	0.32	400
GVG	Sferisch	0.68	0.32	400
GLG	Sferisch	0.68	0.32	400

Nadat de verschillen tussen GxG-metwaarde en GxG-voorspelling met regressiemodellen gebiedsdekkend zijn geïnterpoleerd zijn deze bij elkaar opgeteld. Daarna zijn GxG-voorspellingen rond deelgebiedsgrenzen gecorrigeerd indien een sprong in het freatisch vlak uitgedrukt tov NAP werd vastgesteld.

3.4 Validatie

Op 91 validatielocaties (1 locatie is vervallen) is de op basis van de stambuisregressie berekende GHG, GVG, GLG en Gt vergeleken met waarden op de gemaakte kaarten. Dit betekent dat de validatie alleen betrekking heeft op de maaiveldsregressie en de kriging op residuen. Eventuele voorspelfouten als gevolg van stambuisregressie komen niet tot uiting in deze validatie.

De nauwkeurigheidssuitspraken die hieraan in onderstaande tekst worden verbonden hebben betrekking op het gebied als geheel. Het kan dus zo zijn dat lokaal de kaarten minder nauwkeurig zijn dan uit de analyse blijkt, dit wordt dan elders in het gebied gecompenseerd door nauwkeuriger deelgebieden. Op de validatielocaties zijn de kwaliteitsmaten RMSE en ME bepaald. Uit de bestanden met de standaardafwijking van de voorspelfout van GHG, GVG en GLG kan een ruimtelijk beeld worden verkregen van waar de (on-)zekerheid omtrent het preciese niveau van de GxG het grootst is. Deze onzekerheid is uitgedrukt met de SP.

De vierkantswortel uit de gemiddelde kwadratische fout (RMSE) en de gemiddelde fout (ME) zijn weergegeven in Tabel 6. De RMSE ligt voor GHG en GVG rond de 30 cm. Dit is gunstiger dan bij een vergelijkbare kartering in Noord-Brabant (Finke et al., 1999b), waar RMSE tussen 28 en 44 cm werden aangetroffen bij validatie. De RMSE voor de GLG ligt iets boven de 37 cm. Dit is iets ongunstiger dan de kartering in Noord-Brabant.

Ook is in deze tabel vermeld de standaardafwijking van de voorspelfout die tijdens de kartering is bepaald. (SP). Indien het verschil tussen RMSE en SP gering is, dan is de bij de kartering berekende nauwkeurigheid vrijwel gelijk aan de kwaliteit bepaald tijdens de validatie. Dit blijkt niet het geval voor de GHG, GLG en GVG. Bij alle drie de parameters blijkt de feitelijke (validatie-)kwaliteit minder dan de tijdens de kartering berekende kwaliteit. Dit betekent dat de berekende spreiding in de kaarten is onderschat. Deze onderschatting kan wellicht worden verklaard door de keuze van de validatie steekproeflocaties. Bij de validatie zijn de droge gebieden (Gt VII en Gt VIII) buiten beschouwing gelaten. Dit heeft tot gevolg dat de steekproef voor de validatie geen evenredige afspiegeling vormt van de in het gebied voorkomende waarden. Aangezien de spreiding in de uitersten over het algemeen het grootst is kan de spreiding worden onderschat indien de droge Gt's buiten beschouwing worden gelaten.

De systematische fout (ME) is kleiner dan een centimeter, wat betekent dat er geen systematisch verschil is tussen de kaart en de validatiepunten, wat betekent dat gemiddeld genomen de kaarten de GxG goed voorspellen.

Uit deze analyse volgt, dat de gegeven spreiding in de GHG, GVG en GLG-kaarten wordt onderschat.

Tabel 6 Gemeten (RMSE, ME) en tijdens kartering berekende (SP) kwaliteitskenmerken

Variabele	RMSE (cm)	ME (cm)	SP (cm)
GHG	30,1	0,7	23,5
GVG	30,3	0,1	23,8
GLG	37,3	0,8	29,2

In Tabel 7 is weergegeven hoe de Gt op de validatiepunten is ten opzichte van de grondwatertrap op de nieuwe Gt-kaart. In 52 van de 81 locaties (64%) komt de Gt overeen. Bij de Gt's die niet overeenkomen zijn er ongeveer even veel te nat als te droog. Er is dus in de nieuwe Gt-kaart (net zoals in de kaarten van GVG, GHG en GLG, zie Tabel 6) geen systematische fout. Hierbij moet worden opgemerkt dat, inherent aan de gehanteerde methodiek, de onzuiverheid niet normaal is verdeeld over de afzonderlijke Gt-klassen.

Tabel 7 Gt op validatiepunten vergeleken met die op de geactualiseerde Gt-kaart. Gekleurde cellen geven aan dat er geen verschil is.

		Gt op kaart										Totaal
		II	III	III*	IV	V	V*	VI	VII	VII*	Geen Gt	
Gt op validatiepunt	II											
	III				1		1					2
	III*							1				1
	IV							2	3			5
	V											
	V*							1	1			2
	VI				2			21	6		1	30
	VII			1				10	19	1	5	36
	VII*								7	4	4	15
Totaal				1	3		1	35	36	5	10	91

In Tabel 8 is ter illustratie weergegeven hoe de Gt op de validatiepunten is ten opzichte van de 1 : 50.000 Gt-kaarten van het beheersgebied. Voor de validatie is gebruik gemaakt van de Gt-klassen van de 1 : 50.000 kaart. In 17 van de 89 locaties (19%) komt de Gt overeen. De Gt's die niet overeenkomen staan in de meeste gevallen (65 locaties, 73%) te nat op de Gt-kaart 1 : 50.000.

Uit deze twee tabellen blijkt dus dat (i) de nieuwe geactualiseerde Gt-kaart voor de huidige situatie objectief beter is dan de oude (1 : 50.000) Gt-kaart., (ii) de nieuwe geactualiseerde Gt-kaart niet systematisch te nat of te droog is, en (iii) de oude Gt-kaart voor de huidige situatie een systematisch te nat beeld van de grondwatersituatie geeft.

Tabel 8 Gt op validatiepunten vergeleken met die op de oude Gt-kaart 1 : 50.000. Gekleurde cellen geven aan dat er geen verschil is.

		Gt op kaart										Totaal
		II	III	III*	IV	V	V*	VI	VII	VII*	Geen Gt	
Gt op validatiepunt	II											
	III	1					1					2
	III*			1								1
	IV		2					3				5
	V											
	V*							2				2
	VI	3	6	4	2	3	5	6	1			30
	VII		4	1	3	2	3	17	5		1	36
	VII*		1			2		6	5		1	15
Totaal		4	13	6	5	7	9	34	11		2	91

4 Conclusies en aanbevelingen

In zijn algemeenheid blijkt slechts een klein deel van de OLGA-buizen geschikt te zijn voor tijdreeksanalyse. Oorzaken moeten o.a. worden gezocht in niet-representatieve ligging van deze buizen, een te korte periode van grondwaterstandsmetingen dan wel een te lage meetfrequentie. Aanbeveling is, te blijven investeren in een grondwatermeetnet omdat deze gegevens aan de basis van een goede kartering staan. Hierbij zou een meer evenwichtige verspreiding van peilbuizen over de vóórkommende Gt's en het beheersgebied moeten worden nagestreefd.

De huidige Gd-kartering is uitgevoerd met een vóóraf bepaalde waarnemingsdichtheid. Deze waarnemingsdichtheid leidt tot grote regionale verschillen in kaartkwaliteit. In die deelgebieden waar de kaartkwaliteit lager ligt dan gewenst, is het mogelijk om uit te rekenen welke kwaliteit bij welke waarnemingsdichtheid (dus het investeringsniveau) haalbaar is. Deze berekeningen kunnen worden gebaseerd op de in dit onderzoek verzamelde gegevens. Verwacht mag worden, dat substantiële verbeteringen samenhangen met hoge investeringsniveau's. Het wordt daarom aanbevolen de relatie tussen méérinvestering en verwacht rendement nader uit te werken voor die gebieden waar een kwaliteitsverbetering gewenst is.

Verdere kwaliteitsverbetering kan worden bereikt door nieuwe hulpinformatie gebiedsdekkend beschikbaar te maken (met name de aanwezigheid en diepte van ondergrondse drainage, gedetailleerde peilvakinformatie en grondwateronttrekkingsgegevens). Succes is echter hierbij niet gegarandeerd omdat het vóóraf niet zeker is dat deze hulpinformatie de ruimtelijke variatie in gemeten GxG beter beschrijft dan de nu gebruikte hulpinformatie. Omdat het gebiedsdekkend maken van hulpinformatie aanzienlijk goedkoper is dan het verhogen van de waarnemingsdichtheid, wordt aanbevolen dit ondanks de faalkans toch te doen.

De huidige GxG-kaarten dienen te worden gepresenteerd op een kaartschaal 1 : 25 000, en dat geldt ook voor alle van deze GxG af te leiden bestanden.

Als onderdeel van de kartering wordt de kwaliteit van de GxG-bestanden berekend. In ca. 90% van het gebied kan worden gesproken van een lage of normale onzekerheid in vergelijking met andere karteringen ($sd < 40$ cm). Op basis van de validatie moet echter worden geconcludeerd dat de gekarteerde onzekerheid is onderschat hoewel dit ook gedeeltelijk verklaard kan worden uit de ondervertegenwoordiging van droge waarnemingen in de validatie steekproef.

Uit een vergelijking van de geactualiseerde Gt met de eerder gemaakte Gt-kaarten 1 : 50 000 van het gebied blijkt, dat in een klein deel van het Waterschap sprake is van vernatting, en in een aanzienlijk deel van enige verdroging. De verschuivingen in termen van GHG en GLG zijn echter waarschijnlijk niet groot.

Literatuur

- Finke, P.A., M.F.P. Bierkens, W. Drogen en J. Stolp. 1996. Gebiedsdekkende basisinformatie voor het regionale waterbeheer in het waterschap Rijn en IJssel. Programmeringsstudie. DLO-Staring Centrum, rapport 474.
- Finke, P.A., D.J. Brus, T. Hoogland, J. Oude Voshaar, F. de Vries en D. Walvoort, 1999a. Actuele grondwaterinformatie schaal 1:10 000 in de Waterschappen Wold en Wieden en Meppelerdiep. Gebruik van digitale maaiveldhoogten bij de kartering van GHG, GVG en GLG. *SC-Rapport 633*.
- Finke, P.A., T. Hoogland, M.F.P. Bierkens, D.J. Brus en F. de Vries. 1999b. Pilot naar grondwaterkaarten in het Weerijsg gebied.
- Goedhart, P.W. en J.T.N.M. Thissen (eds), 1992. Genstat Procedure Library manual & GLW Procedure Library Manual. Release 2[3]. Rapport LWA-92-15, DLO Groep Landbouwwiskunde, Wageningen.
- Knotters, M. en P.E.V. van Walsum. 1994. Uitschakeling van weersinvloeden bij de karakterisering van het grondwaterstandsverloop. DLO-Staring centrum, rapport 350.
- 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. Staring Centrum, Rapport 414.

Bijlage 1 Regressiefuncties van AHN+ naar Gd

Tabel 9 Regressiefuncties van AHN+ naar GHG, GVG en GLG in strata binnen het Waterschap.

Per groep kan maximaal 1 parameter zijn geselecteerd. In dat geval is de parameter zwart gemarkeerd en staat de parameterwaarde in de meest rechtse kolom van de groep

Stratum	Doelp	Constante	Groep1					Groep2	Groep3										Groep4	Groep5				Groep6					
			Rel maaiv 100 m	Rel maaiv 200 m	Rel maaiv 300 m	Rel maaiv 400 m	Rel maaiv 500 m	Coëfficiënt	Afstand tot drianagemiddel	Sloot + greppel 100 m	Sloot + greppel 200 m	Sloot + greppel 300 m	Sloot + greppel 400 m	Sloot + greppel 500 m	Sloot 100 m	Sloot 200 m	Sloot 300 m	Sloot 400 m	Sloot 500 m	Coëfficiënt	Drooglegging GIS	Maaiveld tov NAP	Rivierpeil-winter	Rivierpeil-zomer	Coëfficiënt	ghg	glg	Coëfficiënt	R2
1GHG		193.7					0.03												-4.803									99.8	8
1GLG		318.1					0.04												-5.982									99.6	14
1GVG		219.6					0.03												-4.845									99.8	7
2GHG		64.8					-0.48																				0.909	34.9	2928
2GLG		31.0																	-5.805								1.488	34.5	4190
2GVG		86.0					-0.50																				0.917	39.8	2687
3GHG		374.3																	14.396	0.489			0	-0.489			3.213	65.6	891
3GLG		630.7					-0.12												16.645	0.51	-1			-0.529			4.041	71.1	1304
3GVG		342.7					-0.13												-9.518	0.13							-0.977	73.0	861
4GHG		907.0					0.62	0.155												0.744	-1			-0.501			-0.386	78.4	1010
4GLG		503.5					0.86	0.117												0.563		0		-0.358				79.4	1303
4GVG		380.8					0.72	0.098												0.464		0		-0.297				79.9	863
5GHG		35.5																	15.019	0.076							1.546	69.3	781
5GLG		107.8																	18.847	0.095							1.897	69.3	1018
5GVG		57.1																	15.121	0.077							1.561	69.4	675
10GHG		142.5																	6.404	0.803			0	-0.477			0.544	61.3	382
10GLG		100.2																		0.36							0.327	53.7	1006

Stratum	Doelp	Constante	Groep1					Groep2	Groep3								Groep4	Groep5				Groep6								
			Rel maaiv 100 m	Rel maaiv 200 m	Rel maaiv 300 m	Rel maaiv 400 m	Rel maaiv 500 m	Coëfficiënt	Afstand tot drianagemiddel	Sloot + greppel 100 m	Sloot + greppel 200 m	Sloot + greppel 300 m	Sloot + greppel 400 m	Sloot + greppel 500 m	Sloot 100 m	Sloot 200 m	Sloot 300 m	Sloot 400 m	Sloot 500 m	Coëfficiënt	Drooglegging GIS	Maaiveld tov NAP	Rivierpeil-winter	Rivierpeil-zomer	Coëfficiënt	ghg	glg	Coëfficiënt	R2	MSRES
10	GVG	166.5																	6.468	0.813			0	-0.484				0.550	61.1	391
11	GHG	67.4					0.23	-0.053												0.33			0	0.206				0.287	93.8	88
11	GLG	108.1					0.40	-0.066												0.444			0	0.377				0.280	93.6	201
11	GVG	90.2					0.24	-0.054												0.333			0	0.210				0.287	93.8	91
12	GHG	-90.2					0.41												1.300			0		0.221				0.207	70.4	342
12	GLG	-126.4					0.64												1.492			0		0.342				0.190	80.9	478
12	GVG	-73.4					0.42												1.303			0		0.227				0.221	71.2	347
13	GHG	114.3																	-2.066	0.374								-0.464	35.0	147
13	GLG	98.5					-0.51													0.803								0.209	28.3	384
13	GVG	137.2																	-2.041	0.367								-0.464	35.8	140
14	GHG	60.9					1.53																					0.091	88.1	196
14	GLG	116.2					2.32																					0.048	87.9	441
14	GVG	83.3					1.55																					0.092	88.1	200
15	GHG	142.1																					0	0.436				0.035	39.6	562
15	GLG	233.7																					1	0.647				0.030	43.9	1047
15	GVG	165.5																					0	0.442				0.036	39.6	576
16	GHG	-77.8					-0.42												1.572	0.514				0	0.482			-0.590	68.6	761
16	GLG	256.0					-0.73												2.066	0.951				1	0.851			-1.534	77.1	1257
16	GVG	-60.9					-0.44												1.781	0.63				0	0.477			-0.611	73.0	712
17	GHG	78.6					-0.53																					0.280	44.7	123
17	GLG	123.4					-0.86																					0.253	46.5	272
17	GVG	101.4					-0.54																					0.283	45.0	126
18	GHG	60.9					0.87	0.056												0.263								0.311	81.8	51
18	GLG	87.9					1.19	0.082												0.39								0.354	80.1	124

Stratum	Doelp	Constante	Groep1					Groep2	Groep3										Groep4	Groep5				Groep6						
			Rel maaiv 100 m	Rel maaiv 200 m	Rel maaiv 300 m	Rel maaiv 400 m	Rel maaiv 500 m	Coëfficiënt	Afstand tot drianagemiddel	Sloot + greppel 100 m	Sloot + greppel 200 m	Sloot + greppel 300 m	Sloot + greppel 400 m	Sloot + greppel 500 m	Sloot 100 m	Sloot 200 m	Sloot 300 m	Sloot 400 m	Sloot 500 m	Coëfficiënt	Drooglegging GIS	Maaiveld tov NAP	Rivierpeil-winter	Rivierpeil-zomer	Coëfficiënt	ghg	glg	Coëfficiënt	R2	MSRES
18	GVG	83.3						0.88	0.056											0.265								0.316	81.7	52
20	GHG	85.0																	-3.822	0.247								0.733	66.3	341
20	GLG	37.5							0.144										0.46									0.789	64.4	1075
20	GVG	108.3																	-3.932	0.238								0.764	68.1	329
21	GHG	76.2																	-1.065	0.6									71.7	126
21	GLG	164.0						-0.65											-1.628	0.982									61.5	402
21	GVG	99.0																	-1.055	0.607									72.2	129
22	GHG	90.7						0.63											-0.810									0.220	75.9	232
22	GLG	338.1						0.90											-0.907		0			-0.135				0.333	82.6	250
22	GVG	113.4						0.63											-0.809									0.223	75.7	223
30	GHG	107.6						0.40											-2.232	0.63								-0.309	76.3	282
30	GLG	144.0						0.43	0.099											0.848								-0.782	78.9	484
30	GVG	133.8						0.41											-2.197	0.65								-0.339	78.1	270
31	GHG	133.0																	-1.967	0.393		0		-0.118				0.303	86.1	355
31	GLG	216.3																	-2.373	0.474		0		-0.154				0.260	85.5	531
31	GVG	156.4																	-2.145	0.42		0		-0.106				0.272	86.3	375
32	GHG	-201.8																	-3.059	0.401	0			0.271					70.8	353
32	GLG	-159.6																	0.549	0				0.263					62.9	546
32	GVG	-176.4																	-2.989	0.401	0			0.269					71.0	347
34	GHG	95.4						0.35											-1.534	0.159			0	0.025					45.0	618
34	GLG	193.7						0.49											-1.473	0.316									58.6	738
34	GVG	118.6						0.35											-1.522	0.162			0	0.024					45.1	624
36	GHG	-26.2																	1.294			0		0.031				0.406	29.5	135
36	GLG	93.9						0.17																				0.408	57.3	310

Stratum	Doelp	Constante	Groep1					Groep2	Groep3							Groep4	Groep5				Groep6										
			Rel maaiv 100 m	Rel maaiv 200 m	Rel maaiv 300 m	Rel maaiv 400 m	Rel maaiv 500 m	Coëfficiënt	Afstand tot drianagemiddel	Sloot + greppel 100 m	Sloot + greppel 200 m	Sloot + greppel 300 m	Sloot + greppel 400 m	Sloot + greppel 500 m	Sloot 100 m	Sloot 200 m	Sloot 300 m	Sloot 400 m	Sloot 500 m	Coëfficiënt	Drooglegging GIS	Maaiveld tov NAP	Rivierpeil-winter	Rivierpeil-zomer	Coëfficiënt	ghg	glg	Coëfficiënt	R2	MSRES	
36	GVG	1.9																	1.240			0		0.030				0.389	29.5	123	
37	GHG	130.1					0.45												-2.412									0.064	55.8	419	
37	GLG	201.1					0.49												-2.546									0.156	58.3	583	
37	GVG	153.5					0.45												-2.442									0.064	55.8	428	
40	GHG	218.7					0.56												-2.256		0			-0.164				0.723	43.4	1338	
40	GLG	344.3					0.63												-2.431		0			-0.217				0.919	35.4	2379	
40	GVG	244.8					0.56												-2.310		0			-0.168				0.740	43.7	1349	
41	GHG	22.7					-0.42																					1.502	64.8	755	
41	GLG	32.6					-0.77												0.325									0.946	65.7	1055	
41	GVG	45.5					-0.41																					1.497	63.9	766	
51	GHG	46.3					0.35												0.522	0.271								0.241	91.7	50	
51	GLG	139.0					0.53												-0.639	0.129								0.223	91.2	78	
51	GVG	68.5					0.35												0.530	0.275								0.243	91.8	51	
52	GHG	-20.4					0.70															0		0.078						87.3	70
52	GLG	75.3					0.85												-0.360			0		0.074				0.044	92.0	72	
52	GVG	-0.5					0.71															0		0.081						87.2	73
60	GHG	72.7					0.46												-0.545	0.28										93.3	81
60	GLG	134.1					0.69												-0.806	0.418										92.8	182
60	GVG	95.2					0.47												-0.546	0.283										93.0	84
61	GHG	-36.3					0.69												-1.290		0			0.131						82.1	394
61	GLG	-74.6					0.82														0			0.165				0.409	82.4	770	
61	GVG	-9.4					0.71												-1.323		0			0.128						81.2	410
62	GHG	50.9					-0.52													0.703									0.245	79.8	192
62	GLG	55.6																	0.534									0.569	84.4	368	

Stratum	Doelp	Constante	Groep1					Groep2	Groep3										Groep4	Groep5				Groep6						
			Rel maaiv 100 m	Rel maaiv 200 m	Rel maaiv 300 m	Rel maaiv 400 m	Rel maaiv 500 m		Coëfficiënt	Afstand tot drianagemiddel	Sloot + greppel 100 m	Sloot + greppel 200 m	Sloot + greppel 300 m	Sloot + greppel 400 m	Sloot + greppel 500 m	Sloot 100 m	Sloot 200 m	Sloot 300 m		Sloot 400 m	Sloot 500 m	Coëfficiënt	Drooglegging GIS	Maaiveld tov NAP	Rivierpeil-winter	Rivierpeil-zomer	Coëfficiënt	ghg	glg	Coëfficiënt
62	GVG	72.5					-0.51												0.69									0.272	80.6	192
70	GHG	144.5					0.36											-4.019	-0.346		0		0.197				0.304	55.6	776	
70	GLG	163.0																-2.801			0		0.191				0.225	52.1	1328	
70	GVG	113.4					0.51											-5.263	-0.231			0	0.131				0.495	51.4	903	
81	GHG	87.3					0.50											-2.220	0.31	0			0.057				-0.227	81.8	338	
81	GLG	177.3					0.61											-2.714	0.374	0			0.069				-0.277	81.6	499	
81	GVG	110.7					0.50											-2.261	0.311	0			0.057				-0.230	81.5	347	
91	GHG	-102.2																-1.104			0		0.280				0.265	79.6	172	
91	GLG	-162.8																-1.864	0.333	0			0.267				0.057	80.6	285	
91	GVG	-79.5																-1.103			0		0.281				0.266	79.7	171	
100	GHG	55.9					0.16	-0.088																			0.660	47.2	703	
100	GLG	99.1						-0.084														0	-0.007				0.555	43.4	880	
100	GVG	79.2					0.14	-0.086																			0.658	47.1	682	
102	GHG	59.3					0.21																				0.255	38.3	453	
102	GLG	180.1					0.24															0	-0.026				0.222	42.2	483	
102	GVG	83.3					0.21																				0.241	37.4	431	
103	GHG	85.8					0.25											-2.056									0.202	28.1	555	
103	GLG	145.2					0.66																				0.015	32.7	713	
103	GVG	109.2					0.24											-1.965									0.195	27.7	521	
110	GHG	40.0					0.33											-1.310				0	0.028				0.172	48.4	376	
110	GLG	124.0					0.18																				0.319	55.5	446	
110	GVG	63.1					0.33											-1.304				0	0.028				0.173	48.3	375	

