

Klimaatsrepresentatieve grondwaterdynamiek in Waterschap De Dongestroom

**P.A. Finke
M.F.P. Bierkens
D.J. Brus
J.W.J. van der Gaast
T. Hoogland
M. Knotters
F. de Vries**

Alterra-rapport 384

Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte, Wageningen, 2002

REFERAAT

Finke, P.A., M.F.P. Bierkens, D.J. Brus, J.W.J. van der Gaast, T. Hoogland, M. Knotters, F. de Vries, 2002. *Klimaatsrepresentatieve grondwaterdynamiek in Waterschap De Dongestroom*. Wageningen, Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte. Alterra-rapport 384. 146 blz. 39 fig.; 18 tab.; 24 ref.

Veldmetingen van freatische grondwaterstanden in de winter en in de zomer zijn gekoppeld aan langjarige meetreeksen in peilbuizen en aldus omgezet in GHG, GVG en GLG. Deze karakteristieken zijn in verband gebracht met vlakdekkende hulpgegevens welke o.a. zijn gerelateerd aan maaiveldligging uit het AHN. De verkregen relaties zijn gebiedsdekkend toegepast en met geostatistische methoden gecorrigeerd voor fouten. De aldus verkregen gebiedsdekkende bestanden van de GHG, GVG, GLG en grondwatertrap Gt zijn uitgebreid naar regimecurves en duurlijnen en geven samen een actueel en klimaatsrepresentatief beeld van de grondwaterdynamiek op schaal 1 : 25 000. Gebruikmakend van de GHG-kaart en een modelstudie is tenslotte de specifieke en de maatgevende afvoer in kaart gebracht op schaal 1 : 50 000.

Trefwoorden: geostatistiek Grondwaterdynamiek, Gt, karteringm maatgevende afvoer, tijdreeksanalyse

ISSN 1566-7197

Dit rapport kunt u bestellen door € 31 over te maken op banknummer 36 70 54 612 ten name van Alterra, Wageningen, onder vermelding van Alterra-rapport 384. Dit bedrag is inclusief BTW en verzendkosten.

© 2002 Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte,
Postbus 47, NL-6700 AA Wageningen.
Tel.: (0317) 474700; fax: (0317) 419000; e-mail: postkamer@alterra.wag-ur.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	5
Samenvatting	7
1 Inleiding	9
1.1 Aanleiding en doelstellingen	9
1.2 Begrippenkader	9
1.3 Indeling van het rapport	11
2 Werkwijze bij de kartering van de grondwatersituatie	13
2.1 Globale werkwijze	13
2.2 Gebiedsindeling	16
2.3 Gegevensverzameling	17
2.3.1 Grondwatermeetreeksen	17
2.3.2 Veldmetingen van grondwaterstanden	18
Overige gegevens en gegevensbewerking	19
2.4 Tijdreeksmodellering	20
2.5 Naar een set basisgegevens voor de kartering	22
2.5.1 Van gerichte opnames naar klimaatsrepresentatieve GHG, GVG, GLG	22
2.5.2 Afleiden van vlakdekkende hulpgegevens	23
2.6 Naar een vlakdekkende beschrijving van de grondwatersituatie	28
2.6.1 GHG, GVG, GLG en Gt	28
2.6.2 Duurlijnen	31
2.6.3 Regimecurves	32
2.6.4 Kwel- en infiltratieklassen	33
3 Werkwijze bij de berekening van de maatgevende afvoer	35
3.1 Inleiding	35
3.2 Globale werkwijze	37
3.3 Schematisatie	37
3.4 Invoergegevens	40
3.5 Kalibratie	42
3.5.1 Vooronderzoek	42
3.5.2 Kalibratieprocedure	47
3.5.3 Optimalisatie	48
3.6 Bepaling van de specifieke afvoer aan de hand van SWAP-simulaties	49
3.7 Bepaling van de maatgevende afvoer	49
3.8 Validatie	50
4 Resultaten	53
4.1 Gebiedsindeling	53
4.2 Puntgegevens	54
4.3 Kartering	55
4.3.1 GHG, GVG, GLG en Gt	55

4.3.2	Kwaliteitsmaten voor GHG, GVG en GLG	56
4.3.3	Duurlijnen, regimecurves en kwel-/infiltratieklassen	57
4.4	Maatgevende afvoer	57
5	Discussie	61
5.1	Mate van verandering van de grondwatersituatie	61
5.2	Reactie van het Waterschap op de kaarten	63
5.3	Opties om de kwaliteit van de GxG-kaarten te verbeteren	64
5.4	Gebruiksvoorschrift voor de GxG-kaarten	69
5.5	Maatgevende afvoer	70
6	Omgaan met onzekerheid in GxG-kaarten: een handleiding	71
6.1	Inleiding	71
6.2	Bronnen van onzekerheid	71
6.3	Definities	71
6.4	Onzekerheid: moeten we daar wat mee?	75
6.5	Omgaan met onzekerheid	77
6.6	Omgaan met onzekerheid in de GxG	81
6.7	Een praktijkvoorbeeld: natschade en droogteschade	84
6.8	Een programma om GxGs te simuleren	93
7	Conclusies en aanbevelingen	95
	Literatuur	97

Bijlagen

1	Stratumindeling	99
2	Tijdreeksmodellen	101
3	Regressiefuncties van AHN+ naar Gd	115
4	Kalibratie SWAP voor maatgevende afvoer	129
5	Specifieke afvoer	137
6	Validatie	139

Woord vooraf

Dit rapport beschrijft de totstandkoming van gebiedsdekkende bestanden van de grondwaterdynamiek in Waterschap De Dongestroom. Met dit rapport is een serie kaarten en bestanden opgeleverd waarmee het Waterschap, de provincie en DLG een vernieuwde, solide informatiebasis hebben voor ruimtelijke analyses van de grond- en oppervlaktewatersituatie.

Bij dit project is medewerking ondervonden van Waterschap De Dongestroom en van een begeleidingsgroep met vertegenwoordigers van alle Brabantse en Noord-Limburgse Waterschappen, DLG en de Provincie. Veldmedewerkers van het Waterschap hebben de grondwaterstandsmetingen in één deelgebied (162) uitgevoerd.

Samenvatting

In 1999 is in opdracht van de Provincie Noord-Brabant een pilotstudie uitgevoerd naar de realiseerbaarheid van kaarten van de grondwaterdynamiek. Startpunt was hierbij, dat voor de bestrijding van wateroverlast ruimtelijke informatie over de grondwaterdynamiek een vereiste is, en dat het beschikbare kaartmateriaal hiervoor niet meer volstond. De beschikbare kaarten waren verouderd en gaven ook slechts beperkte informatie over de grondwaterdynamiek. De pilotstudie resulteerde in een breed gedragen methode voor de kartering van de grondwaterdynamiek, een proeftoepassing en een plan van aanpak voor geheel Noord-Brabant. In 2000 en 2001 is deze aanpak voor alle Waterschappen in Noord-Brabant uitgevoerd. Onderliggend rapport geeft de hierbij gehanteerde methoden en bereikte resultaten weer voor het beheersgebied van Waterschap De Dongestroom. Daarnaast is, mede op basis van de karteringen, de maatgevend afvoer eveneens gebiedsdekkend bepaald.

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 klimaatsrepresentatief beeld van de grondwaterdynamiek ontstaat dat tevens de huidige (1-1-2000) inrichting en beheer weerspiegelt.
2. Op basis van een onderverdeling van het gebied worden extra meetlocaties (ca 1 per 110 hectare) gekozen die elk twee maal worden bemeten (in de zomer en in de winter). 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 basis van nieuwe gegevens aangepast en vervolgens opgeleverd. Daarnaast zijn bestanden opgeleverd waarmee de duurlijn, regimecurve en kwelklasse kan worden berekend. Alle bestanden hebben een resolutie van 25x25 m² en dienen te worden gepresenteerd op schaal 1 : 25 000.

Op basis van de grondwaterdynamiek en andere bodemkundige en geohydrologische hulpinformatie is een modelinstrumentarium ingesteld waarmee de specifieke afvoer van deelgebiedjes is berekend. Na een opschaling naar stroomgebieden is hieruit een gebiedsdekkend beeld van de maatgevende afvoer onder de huidige hydrologische - en klimaatscondities afgeleid.

1 Inleiding

1.1 Aanleiding en doelstellingen

In Noord-Brabant is naar aanleiding van de wateroverlast in 1993 en 1995 nagedacht over een aanpak van dit probleem. Het risico van wateroverlast kan worden verkleind door (i) de bergingspotentie van bodem, oppervlaktewater en maaiveld beter te benutten en de afvoer beter te sturen; dit o.a. door de infiltratie te verhogen en de oppervlakkige berging langs de regionale watersystemen te verhogen; (ii) ruimtelijke planning beter af te stemmen op de watersystemen. Bij het plannen en uitvoeren van maatregelen dienaangaande blijkt een actuele gebiedsdekkende beschrijving van de grondwatersituatie en van de maatgevende afvoer een vereiste. Met "actueel" wordt bedoeld "gegeven de huidige hydrologische beheers- en inrichtingsmaatregelen en rekening houdend met het effect van weersfluctuaties binnen de klimaatperiode".

Verschillende waterschappen binnen de Provincie hebben aangegeven ook om andere redenen behoefte te hebben aan een actuele grondwatertrappenkaart.

In een pilotstudie in Noord-Brabant is daarom door Alterra onderzoek gedaan naar een methodiek waarmee, gebruikmakend van het Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN), kaarten kunnen worden gemaakt van de GHG, GVG, GLG, Gt, regimecurve, duurlijn en kwel/infiltratieklasse. Deze methodiek bleek uitvoerbaar en leverde resultaten van voldoende kwaliteit op. Daarnaast heeft Alterra een aantal methoden ontwikkeld om de actuele maatgevende afvoer vast te stellen.

Het project heeft als doel een aantal essentiële basisgegevens aan te leveren voor de aanpak van het risico van wateroverlast. Hiertoe worden gebiedsdekkend actuele bestanden met GHG, GVG, GLG, Gt, regimecurve, duurlijn, kwel/infiltratieklasse en maatgevende afvoer aangelegd op basis van veldmetingen en berekeningen.

1.2 Begrippenkader

In dit rapport worden een aantal afkortingen en begrippen gebruikt:

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

HG3 respectievelijk *LG3* 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 halfmaandelijke 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 *HG3* 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 *LG3* 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 de begrippen *GHG*, *GVG* en *GLG* samen.

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

- (i) Vanaf -bijvoorbeeld- 1 april 2001 wordt op de 14e en 28e van elke maand de freatische grondwaterstand gemeten gedurende een periode van 30 jaar (tot en met 1 april 2031 dus).
- (ii) Gedurende deze periode verandert er niets aan het huidige peilbeheer, de inrichting van het watersysteem, het debiet van grondwateronttrekkingen et cetera (geen nieuwe menselijke ingrepen dus)
- (iii) De *GxG* wordt op basis van deze gegevens berekend (eerst per hydrologisch jaar de *HG3*, *VG3* en *LG3*, daarna het 30-jaarse gemiddelde van de *HG3*, *VG3* en *LG3* leidend tot *GHG*, *GVG* en *GLG*).

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

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

De *duurlijn* geeft aan welke totale tijdsduur binnen het jaar een bepaalde grondwaterstand wordt overschreden.

De *regimecurve* geeft aan wat de verwachte grondwaterstand is op een bepaalde datum in een toekomstig jaar.

De *kwel* geeft aan of de mate waarin de gemiddelde grondwaterstand boven de drooglegging komt kan worden verklaard uit het gemiddelde neerslagoverschot. In dit onderzoek wordt de *kwel* niet berekend uit het verschil tussen stijghoogten in ondiepe en diepe filters maar uit tijdreeksanalyse. De *kwel* of infiltratie wordt gepresenteerd in klassen om schijnnaauwkeurigheid te vermijden.

De *Gd* (GrondwaterDynamiek) is een verzamelterm voor *GxG*, *Gt*, *duurlijn*, *regimecurve* en *kwelklasse*.

Stratificatie is het onderverdelen van een gebied in hydrologisch homogene deelgebieden, ook wel *strata* genoemd. Met "hydrologisch homogeen" wordt bedoeld: een vergelijkbare hydro-geologische en bodemkundige ondergrond. Soms wordt de landschappelijke ligging (beekdalen), het peilbeheer (grote polders) en het landgebruik (grote natuurgebieden met karakteristiek peilbeheer) bij de stratificatie betrokken.

1.3 Indeling van het rapport

Hoofdstuk 2 beschrijft de werkwijze die is gevolgd om te komen tot gebiedsdekkende bestanden van de *Gd*. Hoofdstuk 3 beschrijft hoe de maatgevende afvoer gebiedsdekkend is vastgesteld. De resultaten zijn beschreven in hoofdstuk 4.

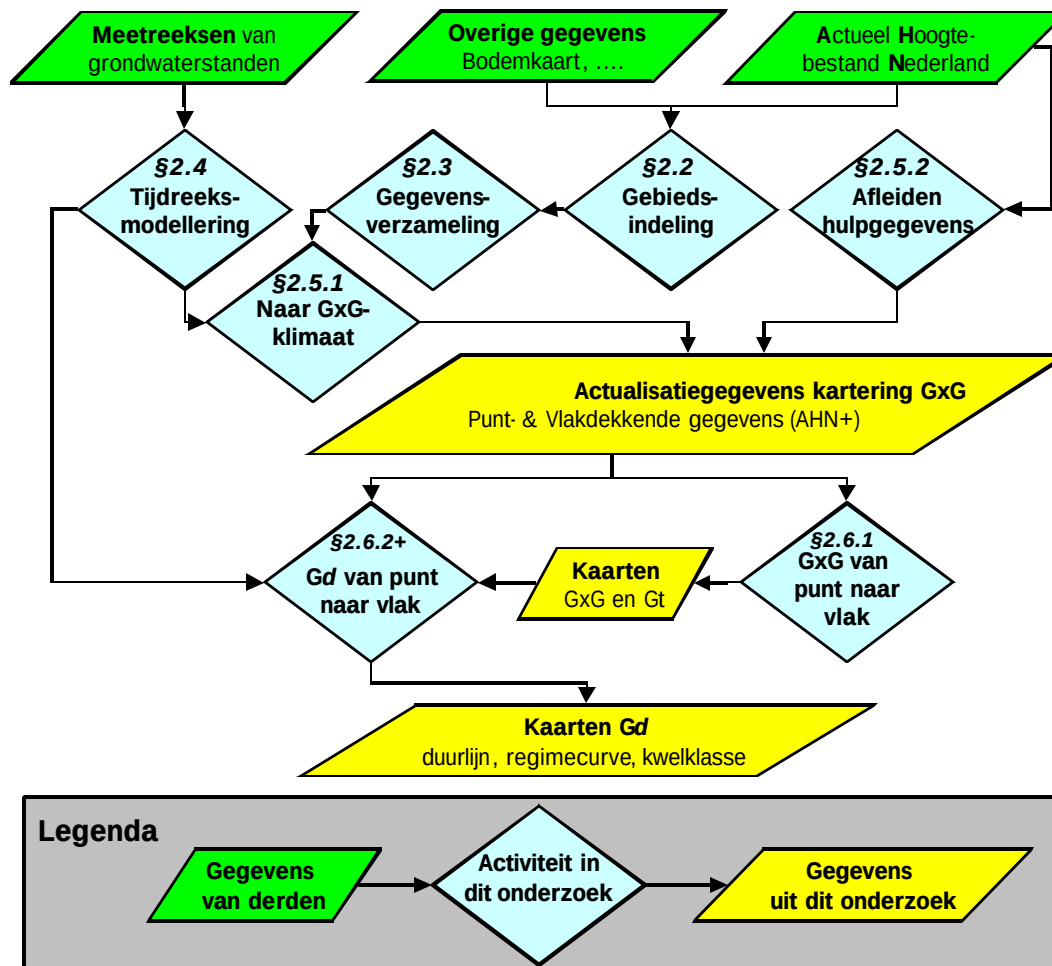
Een lezer die dit rapport op hoofdlijnen wil doornemen kan zich beperken tot het lezen van de samenvatting, sectie 2.1 voor een samenvatting van de werkwijze van de grondwaterkartering, sectie 3.1 voor een samenvatting van de berekeningswijze van de maatgevende afvoer, en hoofdstuk 7 voor een overzicht van de conclusies.

Bij de meer technisch beschrijvende deelhoofdstukken 2.4, 2.5 en 2.6 is in een kader een korte beschrijvende samenvatting opgenomen welke zelfstandig kan worden gelezen. Het wordt aanbevolen hoofdstuk 5 te lezen alvorens de GxG-bestanden in toepassingsstudies te gebruiken. Hoofdstuk 6 bevat een uitwerking van hoe met gekwantificeerde onzekerheid kan worden omgegaan.

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; standen tot medio 1999);
- bodemkaart- en Gt-kaart 1 : 50 000 (Alterra; gekarteerd tussen 1981 en 1984);

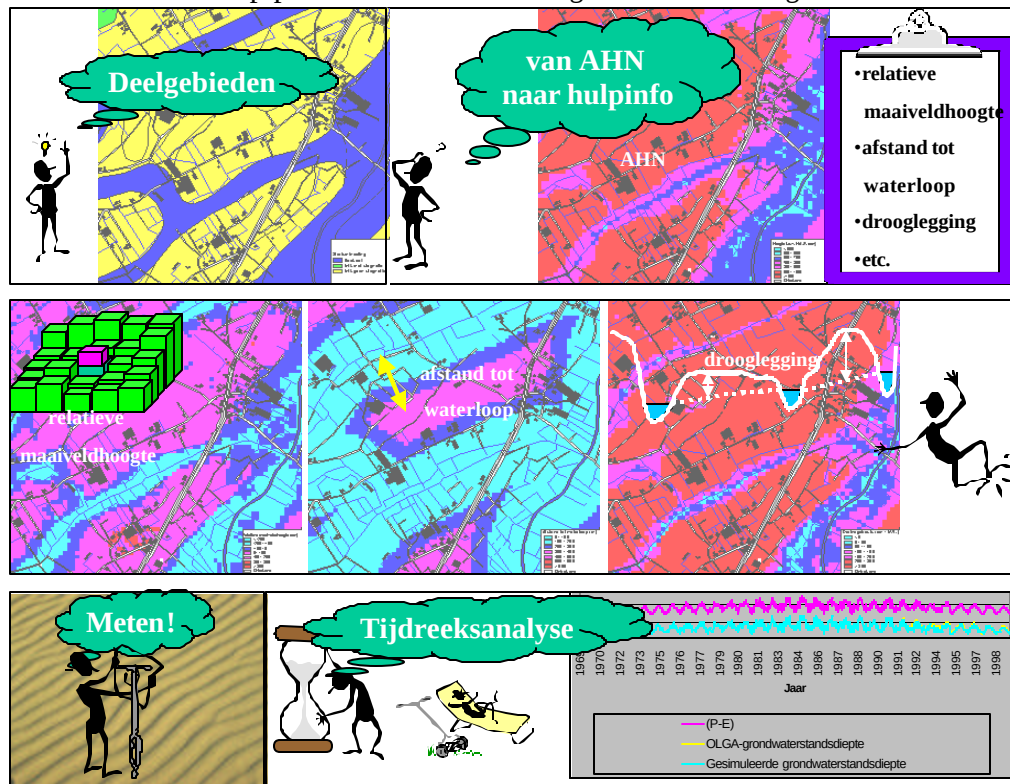
- bodem- en Gt-kaarten van detailkarteringen (Alterra; Goirle 1 : 10 000, 1980);
- topografische kaart 1 : 10.000 (Topografische Dienst, 1990 en recenter);
- het Actueel Hoogtebestand Nederland (Meetkundige Dienst, 1999);
- geomorfologische kaart van Nederland 1 : 50 000 (Alterra);
- het Landelijk Grondgebruiksbestand Nederland (LGN3⁺, Alterra, 1995);
- neerslag- en verdampingsgegevens van de neerslag- en verdampingsstations van het KNMI (neerslagstations Capelle en Chaam, verdampingsstation Eindhoven vliegbasis).

Daarnaast is vanuit het Waterschap de volgende informatie aangeleverd:

- een digitale kaart met peilvakken en waterinlaat;
- de digitale waterschapsgrens.

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.



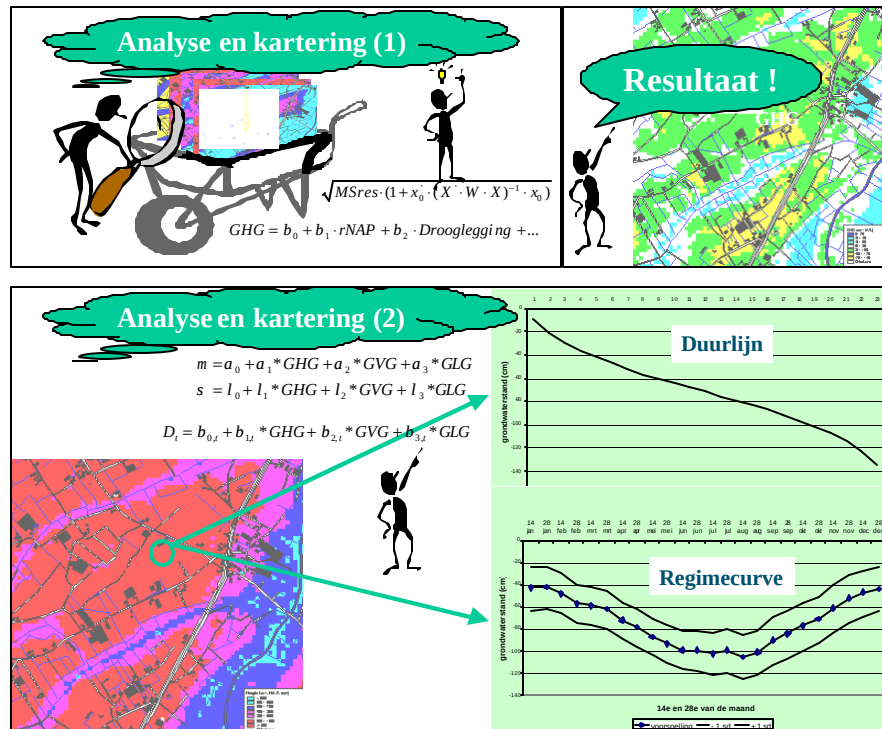
Figuur 2 Stappen van basis- naar actualisatiegegevens.

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 in verband gebracht en omgezet naar klimaatsrepresentatieve GxG (met regressietechnieken). 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.



Figuur 3 Stappen bij het in kaart brengen van de Gd

De feitelijke kartering

Per deelgebied zijn de GxG-puntgegevens en de hulpinformatie uit de **actualisatiegegevens** met elkaar in verband gebracht (door middel van regressietechnieken). 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**. Een soortgelijke aanpak wordt gevolgd om duurlijnen, regimecurves en kwelklassen in kaart te brengen. In

NITG-buizen wordt de duurlijn, regimecurve en kwelsterkte bepaald met de tijdreeksmodellering en de ter plekke bepaalde drooglegging. Vervolgens worden deze met de actualisatiegegevens op de locaties van deze peilbuizen in verband gebracht. Deze relaties worden tenslotte gebiedsdekkend toegepast. Zie ook Figuur 3.

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.

Gebruikte gegevens

Voor de stratificering is de volgende gebiedsdekkende informatie gebruikt:

- geologische kaart van Nederland;
- geomorfologische kaart van Nederland, schaal 1 : 50 000;
- het Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN 25 x 25 meter);
- waterlopen volgens de topografische kaart van Nederland (top10vector);
- De Landelijke Grondgebruikskaat Nederland (LGN3⁺ 25 x 25 m);
- bodem en Gt-kaart van Nederland, schaal 1 : 50 000.

Verder zijn er gegevens gebruikt die niet altijd gebiedsdekkend beschikbaar zijn:

- stroomgebieden en peilgebieden volgens de waterschappen;
- gedetailleerde bodemkaarten, schaal 1 : 10 000, van Landinrichtingsgebieden;
- locaties met droogvallende waterlopen;
- gebieden met vernattingsprojecten.

Werkwijze

De bodem en Gt-kaart van Nederland, schaal 1 : 50 000, dient als werkkaart. De kaartvlakken van deze kaart worden toegekend aan strata. Indien nodig worden de kaartvlakken aan de hand van additionele informatie gesplitst.

De stratificatie verloopt in 3 stappen:

1. onderscheiden van geohydrologische hoofdeenheden op basis van de geologische kaart (dagzomende geologische formatie) en een aantal gedigitaliseerde breuklijnen;
2. onderverdeling in bodemkundig-hydrologische eenheden. Binnen de geohydrologische hoofdeenheden is op basis van de gegevens van de bodem en Gt-kaart, het afwateringspatroon en de hoogteligging een verdere onderverdeling gemaakt. Hierbij is speciaal gelet op:
 - droog (Gt VII en VIII) versus nat Gt (I, II, III);

- leemlagen in de ondergrond;
- textuur van de bodem;
- grof zand in de ondergrond;
- intensiteit van afwateringspatroon.

Voorbeelden van deze bodemkundig hydrologische eenheden zijn:

- beekdalen;
- droge zandgronden;
- lemige gronden met stagnatie door leemlagen.

Eén eenheid kan op meerdere plaatsen voorkomen en de oppervlakte per vlak loopt uiteen van minder dan honderd tot bijna 10 000 ha. De bodemkundige informatie waarop stap 2 is gebaseerd is in het algemeen de 1 : 50 000 Bodem- en Gt-kaart. Indien digitaal kaartmateriaal uit detailkarteringen (1 : 10 000 of 1 : 25 000) beschikbaar is, wordt voor het betreffende deelgebied deze informatie gebruikt.

3. In deze stap worden de uiteindelijke strata gedefinieerd. Eén of meerdere vlakken van een bodemkundig hydrologische eenheid worden samengevoegd tot een stratum. Soms worden vlakken uit meerdere eenheden samengevoegd om tot meer aaneengesloten deelgebieden te komen en versnippering tegen te gaan. De gemiddelde grootte van een stratum is ongeveer 3000 hectare. In gebieden met grote verschillen in de bodemkundig-hydrologische situatie kunnen strata aanzienlijk kleiner zijn, in homogene gebieden zijn de strata groter.

Het resultaat van stap 3 is aan een vertegenwoordiging van het Waterschap voorgelegd, besproken en bijgesteld. Daarna heeft het Waterschap op basis van het tweede concept een reactie kunnen geven. Na een eventuele tweede bijstelling is de stratificatie daarna vastgesteld.

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. Daarnaast zijn korte meetreeksen van grondwaterstanden aangeleverd vanuit de Waterschappen en de Provincie. 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.

Overige grondwaterstandsmetreeksen

Het Waterschap en de Provincie installeren en exploiteren een aantal grondwaterstandsmetnetten. Over het algemeen hebben deze meetnetten een tijdelijk karakter en een specifiek doel. De gegevens die door Waterschap en Provincie zijn aangeleverd zijn getoetst aan de volgende criteria:

- zijn de locatiecoördinaten van de peilbuis bekend? Zo nee, dan zijn de buizen onbruikbaar voor dit onderzoek;
- is de meetreekslengte en -frequentie voldoende (minimaal 1,5 jaar en 18 maal per jaar bemeten)?
- zijn de grondwaterstanden gegeven ten opzichte van maaiveld? Sommige meetreeksen zijn gegeven ten opzichte van NAP. Als de lokale maaiveldhoogte op de locatie van de buis niet (meer) bekend is zijn de meetreeksen niet bruikbaar voor dit onderzoek, omdat het AHN niet nauwkeurig genoeg is om de stand om te zetten naar "ten opzichte van maaiveld".

In tegenstelling tot de OLGA-(SUN)-buizen zijn de buizen uit de lokale meetnetten niet in het veld bezocht. Dit is een gevolg van de te korte doorlooptijd tussen het beschikbaar komen van de gegevens en de grondwaterkartering.

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- 30 locaties de GHG, GVG en GLG gemeten worden. In grotere deelgebieden is dat aantal groter (tot maximaal 60 locaties), in kleinere deelgebieden kleiner (tot minimaal 25 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 110 hectare. De locaties worden als volgt gekozen:

1. Met het top10-vectorbestand en het AHN is een kaart van de drooglegging gemaakt, zie hoofdstuk 2.5.2 voor een beschrijving van de werkwijze.

2. Voor elk stratum is bepaald hoeveel waarnemingen er worden gedaan. Gemiddeld zijn dit er 30.
3. Alle per pixel berekende droogleggingen worden per stratum gesorteerd van nat (ondiep) naar droog (diep).
4. De lijst met gesorteerde droogleggingen wordt in 30 klassen opgesplitst (bij een latere keuze van 30 waarnemingen). Deze klassen zijn kleiner bij “natte” dan bij “droge” droogleggingen. Hiermee wordt geforceerd dat er voldoende waarnemingen in de natte terreindelen worden gedaan.
5. Per klasse wordt één waarnemingslocatie gekozen (en 2 reservelocaties op voldoende afstand).

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.

Overige gegevens en gegevensbewerking

Waterschapsgrenzen

Bij aanvang van het project zijn door de Waterschappen waterschapsgrenzen digitaal aangeleverd. Deze zijn alleen voor administratieve en presentatiedoeleinden gebruikt, en hebben bij de stratificatie geen rol gespeeld.

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, dat de opschaling van het 5x5 meter grid naar het 25x25 meter grid niet op uniforme wijze was gebeurd aan beide zijden van de Provinciegrens van Brabant en Limburg. Om deze reden is deze opschaling opnieuw gedaan met het standaardalgoritme van de Meetkundige Dienst (OUTGRID=RESAMPLE(INGRID,25,BILINEAR)). Hierbij worden alleen de centrale 5x5 cellen binnen een 25x25 cel gebruikt bij de opschaling.
- Een tweede 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⁺.
- Tenslotte 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.

Historische gerichte opnames

Bij de start van het project is afgesproken om bruikbare bestaande grondwateropnames bij het onderzoek te betrekken. Hiervoor zijn de grondwaterstandgegevens verzameld in detailkarteringen van na 1990 gebruikt. Het

gaat hierbij om korte meetreeksen (in het algemeen circa 1 jaar) en om gerichte opnames. De locaties van de meetreeksen en opnames zijn, voor zover nodig, vanaf gepubliceerde kaarten gedigitaliseerd. De gemeten grondwaterstanden zijn ingevoerd. In het vervolg van het onderzoek zijn deze gegevens op gelijke wijze verwerkt als de grondwaterstandmetingen die gedurende het veldwerk zijn gedaan.

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 duurlijnen 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, GLG (maar ook de andere kenmerken van de Gd zoals regimecurve, duurlijn en kwelklasse) 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-jaarse tijdreekslengte.

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 variatie (de variatie in de tijd). 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 variatie zou leiden tot een te diepe GHG en een te ondiepe GLG.

De algemene vorm van het transfer-ruismodel is:

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

waarin h_t is de grondwaterstand op dag t en $P_{e,t}$ is het neerslagoverschot, $a_{F,t}$ en $(n_{F,t}-c)$ zijn ruiscomponenten en de overige symbolen zijn coëfficiënten. Hier wordt een vereenvoudigde vorm van het transfer-ruismodel gebruikt waarbij de indices $r=1$, $s=0$, $p=1$, $q=0$ en $b=0$. De deterministische component $h_{F,t}$ wordt geschat met:

1. de vorige grondwaterstandmeting uit de tijdreeks en
2. het neerslagoverschot tussen de huidige en de vorige meting.

De coëfficiënten d_i en w_0 zijn de gewichten die aan respectievelijk de vorige grondwaterstandmeting en het laatste neerslagoverschot worden toegekend. De ruiscomponent ($n_{F,t}-c$) wordt geschat met:

1. de vorige waarde uit de tijdreeks van het ruissignaal en
2. de witte¹ ruiscomponent $a_{F,t}$ voor de laatste meting.

Het bovenbeschreven transfer-ruis model is ingebed in een Kalman-filter waardoor het optimaal aansluit bij gemeten grondwaterstanden.

De coëfficiënten van het transfer-ruismodel zijn gekalibreerd met het programma *KALTFN* (Bierkens *et al.*, 1999). De neerslaggegevens zijn voor elke peilbuis afkomstig van het dichtstbijzijnde meteostation met 30-jaarse neerslagmetingen. De referentie-gewasverdamping is voor alle peilbuizen afkomstig van het weerstation Vliegbasis Eindhoven.

Bij de kalibratie 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 kalibratie van het tijdreeksmodel wordt dit model toegepast op

¹ Witte ruis bestaat uit een set ongecorrelleerde getallen met een gemiddelde van 0.

neerslagoverschotreeksen voor de klimaatperiode 1969 tot en met 1999 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 met de variantie van de voorspelfout.

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 aanwezigheid van drains en de drainagedichtheid. De hulpbestanden worden "AHN+" genoemd.

2.5.1 Van gerichte opnames naar klimaatsrepresentatieve GHG, GVG, GLG

Op de tijdstippen van de gerichte opnames zijn ook grondwaterstanden gemeten in een aantal OLGA-peilbuizen waarvan de GxG is berekend (hoofdstuk 2.3.1). 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 in deze buizen voor de dag van de gerichte opname een regressierelatie te bepalen tussen de op die dag gemeten grondwaterstand en de berekende GxG. Een variant hierop is het bepalen van de relatie tussen zowel de zomer- als de wintergrondwaterstand enerzijds als de GHG (of GVG of GLG) anderzijds. Deze relatie heeft de algemene vorm:

$$GxG = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + e$$

waarbij x_1 de wintergrondwaterstand, x_2 de zomergrondwaterstand en GxG de GHG, GVG of GLG in een peilbuis; β_i ($i=0, 1$ of 2) zijn de regressieparameters en e is de fout bij de regressie.

In dit onderzoek wordt eerst bepaald welk model voor de voorspelling van de GxG het best is: een van de twee modellen gebaseerd op 1 gemeten stand (in dat geval geldt: $\beta_2=0$) of het model gebaseerd op 2 gemeten standen. Daarna wordt het gekozen regressiemodel gefit.

Deze relatie wordt dan toegepast op de gemeten grondwaterstanden in boorgaten van de gerichte opname, hetgeen resulteert in een voorspelling van de GxG. Ook de onzekerheid van deze voorspelling wordt berekend met de variantie van de voorspelfout.

Bij het toepassen van de regressievergelijking kunnen er 2 bijzondere omstandigheden optreden. Deze omstandigheden en hoe daarmee wordt omgegaan worden hieronder kort geschetst.

1. De gemeten grondwaterstand in een boorgat is dieper dan de maximale boordiepte van 2,50 meter. In dat geval spreekt men van een “gecensureerde waarneming”: de precieze waarde is onbekend, maar wel is bekend dat de waarneming “dieper dan” een grenswaarde is. Na detectie van een gecensureerde waarneming wordt eerst een zgn. *maximum likelihood* schatting gemaakt van de grondwaterstand. Daarbij wordt de code ">2,50" vervangen door de meest waarschijnlijke diepte groter dan 2,50 meter. 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 GENSTAT-programma waarmee GxG worden voorspeld.
2. De in het veld gemeten standen zijn veel natter of droger zijn dan de standen die in de OLGA-peilbuizen zijn gemeten. Dit verschijnsel heet “extrapolatie” en kan met behulp van een statistisch criterium worden gesignaleerd:

$$x_0' (X'WX)^{-1} x_0 > 4p/n$$

waarin p het aantal parameters van het regressiemodel en n het aantal waarnemingen waarop het regressiemodel is gefit. In het geval van extrapolatie wordt de stambuisregressie opnieuw uitgevoerd met extra OLGA-peilbuizen² zodat een regressievergelijking beschikbaar komt die voor alle in het veld aangetroffen omstandigheden bruikbaar is. De signalering van extrapolatie is standaard ingebouwd in het GENSTAT-programma waarmee GxG worden voorspeld. Opnieuw uitvoeren van de stambuisregressie met meer natte en/of droge metingen in peilbuizen is mogelijk door met de gekalibreerde tijdreeksmodellen dagstanden te berekenen in de relevante OLGA-peilbuizen.

2.5.2 Afleiden van vlakdekkende hulpgegevens

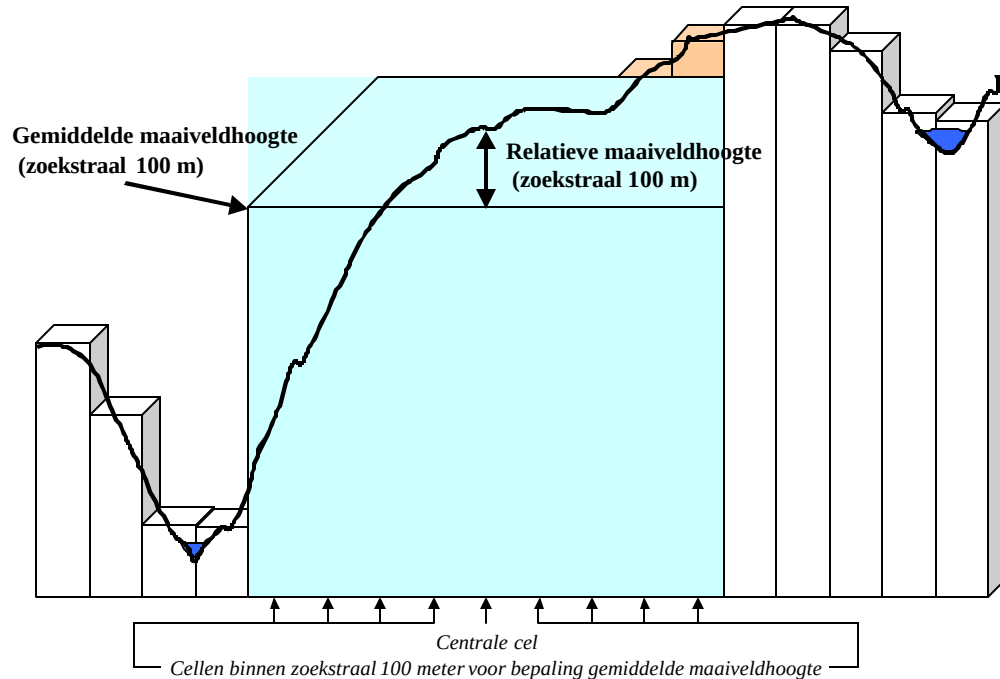
Uit het AHN, LGN3⁺, de Gt-kaart 1: 50.000 en het top10-vectorbestand zijn 8 groepen hulpinformatie afgeleid. Elk van deze groepen hulpinformatie bevat 1 of meer kaarten met daarop hydrologisch relevante parameters. Parameters die als min of meer uitwisselbaar worden beschouwd zijn ondergebracht in 1 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

² Peilbuizen die niet tijdens de meting zijn bezocht, maar waar wel uit tijdreeksanalyse de GxG zijn berekend.

AHN is voor zoekstralen van 100, 200, 300, 400 en 500 meter de relatieve maaiveldhoogte bepaald.



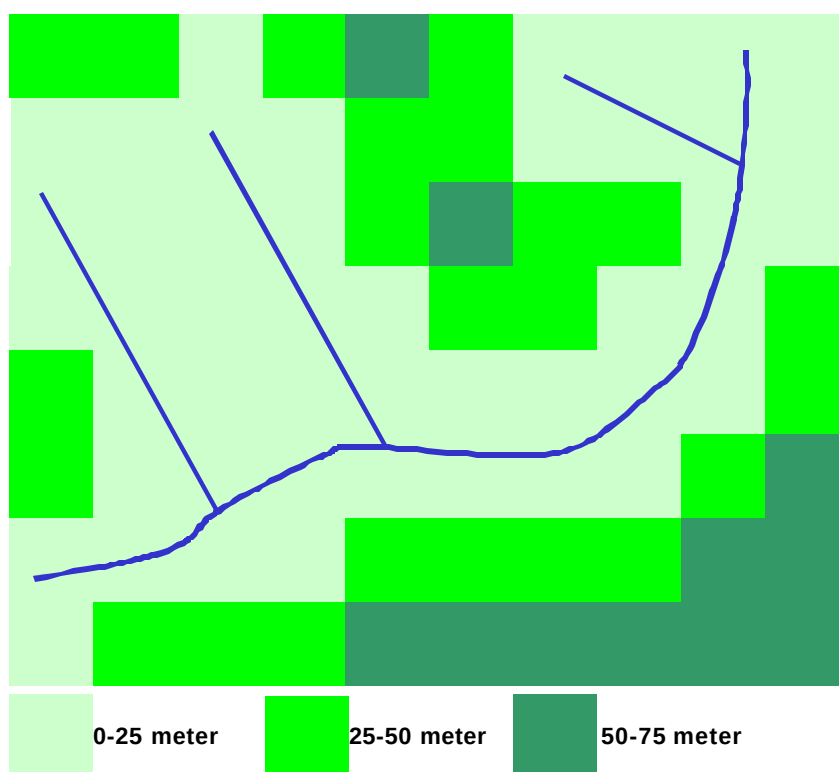
Figuur 4 Bepaling relatieve maaiveldhoogte uit AHN

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 interpolatie³. Voor elke cel van het AHN is een waarde geïnterpoleerd (Figuur 5). De tussenafstand van ondergrondse drainage is hierbij niet betrokken omdat deze gegevens ontbreken.

³ 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.

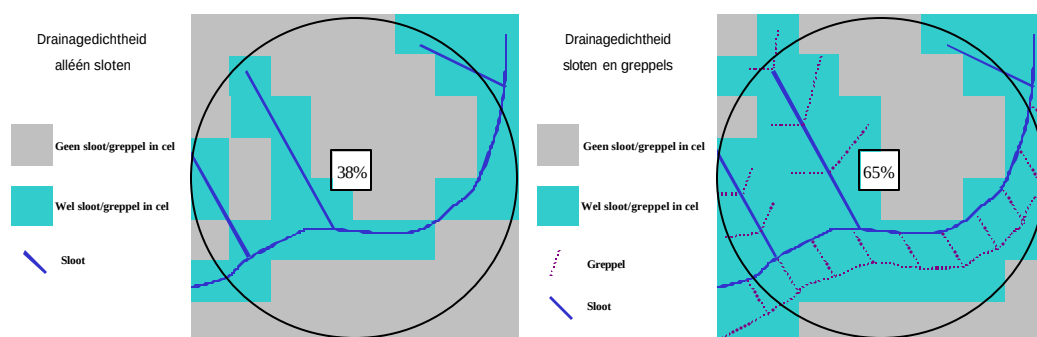


Figuur 5 Bepaling "afstand tot waterloop"

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 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

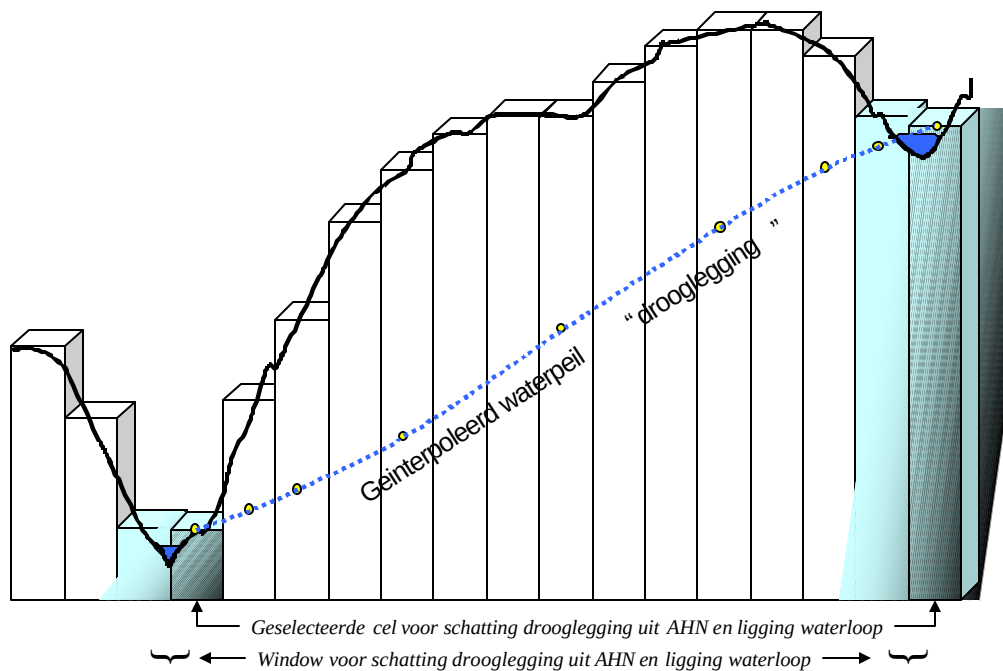
De drooglegging is het verwachte effect van het peilbeheer en de waterlopeninfrastructuur op de grondwaterstand. Een gebiedsdekkende schatting van de drooglegging zal daarom naar verwachting nuttige hulpinformatie opleveren bij een grondwaterkartering.

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.

Gedurende het veldwerk is op een groot aantal locaties het slootpeil ten opzichte van het lokale maaiveld gemeten (de feitelijke drooglegging). Hiermee is op die locaties berekend hoe groot het verschil is tussen de berekende drooglegging en de feitelijke drooglegging. Dit verschil is gebiedsdekkend geïnterpoleerd en opgeteld bij de bovenbeschreven droogleggingkaart. De aldus verkregen gebiedsspecifiek gecorrigeerde droogleggingkaart en ook de eerste droogleggingkaart zijn beide als hulpinformatie gebruikt in het vervolg van het onderzoek.



Figuur 7 Schatting van de drooglegging.

Groep 5: maaiveld ten opzichte van NAP

Dit is de absolute maaiveldhoogte uit het 25x25 meter AHN.

Groep 6: het vóórkomen van drainage

De aanwezigheid van drainage heeft invloed op met name de wintergrondwaterstanden en is afhankelijk van het landgebruik. Voor de parametrisatie van het landelijke rekenmodel “STONE” (Massop *et al.*, 2000) is een landsdekkende vertaaltabel gemaakt waarin de diepte van de drains als functie van het landgebruik is aangegeven. Deze tabel is gebruikt om de landgebruiksklassen van het LGN3⁺ om te zetten naar een indicator wel/geen ondergrondse drainage (1/0-variabele). Niet alle combinaties in Tabel 1 komen daadwerkelijk voor in het studiegebied.

Tabel 1 Vóórkomen van ondergrondse drainage als functie van het landgebruik. 0 = geen ondergrondse drainage
Y = alleen drainage als slootdichtheid > 400 meter per 250x250 cel; 1 = wel ondergrondse drainage

LGN3 ⁺ klasse	Gt									
	I	II	II*	III	III*	IV	V	V*	VI	VII
Gras	1	1	1	1	0	0	Y	0	0	0
Maïs	1	1	1	1	0	0	Y	0	0	0
Aardappelen	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0
Bieten	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0
Granen	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0
overige landbouwgewassen	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0
Glastuinbouw	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Boomgaard	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Bollen	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Loofbos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Naaldbos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
droge heide	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
overig open begroeid natuurgebied	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
kale grond in natuurgebied	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
zoet water	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
zout water	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
stedelijk bebouwd gebied	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
bebouwing in buitengebied	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
loofbos in bebouwd gebied	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
naaldbos in bebouwd gebied	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
bos met dichte bebouwing	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
gras in bebouwd gebied	1	1	1	1	0	0	Y	0	0	0
kale grond in bebouwd buitengebied	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
hoofdwegen en spoorwegen	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
bebouwing in agrarisch gebied	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
nieuw bollenland	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Inundatie	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Groep 7 en groep 8: 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 2 Omzetting van Gt op bodemkaart 1 : 50 000 naar GHG en GLG.

Gt op kaart	GHG _{oud}	GLG _{oud}
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	155
VII	101	190
VII*, VIII	185	281

2.6 Naar een vlakdekkende beschrijving van de grondwatersituatie

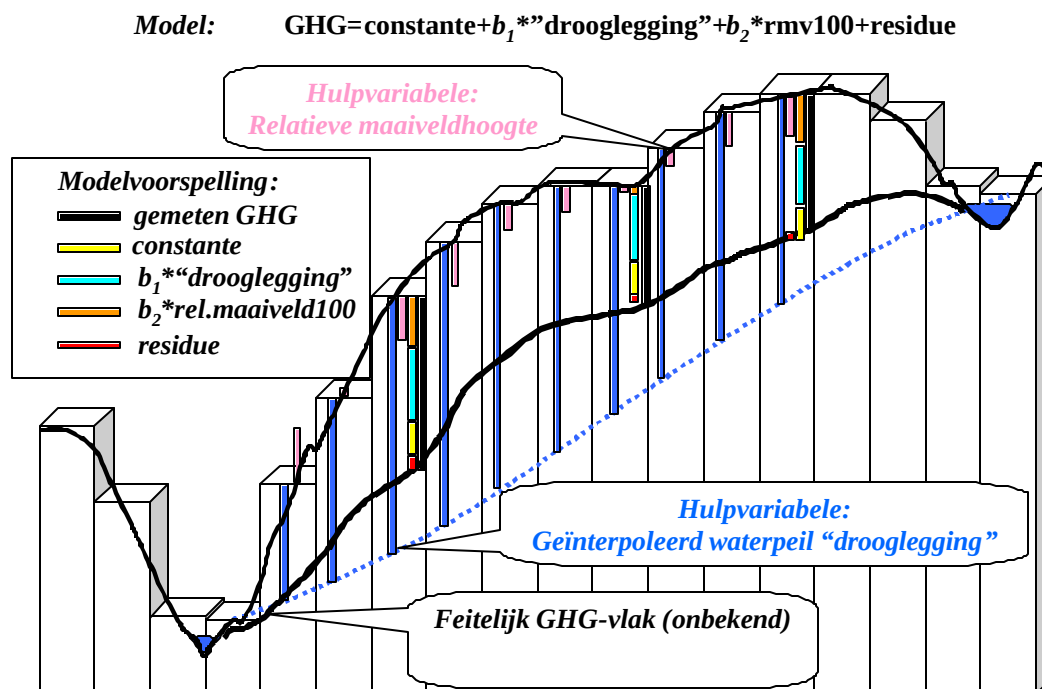
Het karteren van de GxG vindt plaats in 2 stappen. De eerste stap bestaat uit het leggen van een verband met 8 groepen gegevens uit het "AHN+" en het daarna gebiedsdekkend toepassen van de gevonden statistische relaties. Het AHN+ bestaat uit 5 kaarten met relatieve maaiveldhoogten, de kaart met de afstand tot drainagemiddelen, 2 drainagedichtheidkaarten, 2 droogleggingkaarten, 1 kaart met absolute maaiveldhoogten, 1 kaart met het vóórkomen van drainage, 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.



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 lokaties gemeten. Op deze 3 lokaties kan de GHG worden geschat met een constante, een factor $b_1 * \text{drooglegging}$ en een factor $b_2 * \text{relatieve-maaiveldhoogte}$. 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 $(n \times (k+1))$ matrix met $(k+1)$ verklarende variabelen als kolommen en n waarnemingen waarop de relatie is bepaald als rijen; W is de $(n \times n)$ 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:

$$residu_{reg} / \sqrt{MSres_{reg}} = residu_{standaard}$$

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*⁴ 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:

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

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 algoritme⁵ toegepast.

De Gt volgt direct uit de combinatie van GHG en GLG.

2.6.2 Duurlijnen

Duurlijnen geven het verband tussen een grondwaterstand en de tijdsduur dat die grondwaterstand wordt overschreden. De duurlijn is een cumulatieve verdeling. Als 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 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.

⁴ Kriging is een interpolatiemethode die op onbezochte lokaties 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, en wel voor deelgebieden in west-Brabant, oost-Brabant en het oostelijke deel van Waterschap Peel en Maasvallei apart.

⁵ 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.

Uit de gesimuleerde tijdreeksen (hoofdstuk 2.4) worden per OLGA-buis duurlijnen bepaald. Elke simulatie betreft een periode van 30 jaar. Een grondwaterstand in een duurlijn wordt dus berekend uit de som van grote hoeveelheden neerslagoverschotten en een ruisterm. Weliswaar vertoont het neerslagoverschot temporele autocorrelatie⁶ maar de grondwaterstanden kunnen, omdat het er zeer veel zijn, bij benadering toch normaal verondersteld worden (de "centrale limietstelling" uit de statistiek). Dit betekent dat de duurlijn gezien mag worden als een cumulatieve normale verdeling (errorfunctie), beschreven door μ en σ . Op de locatie van de OLGA-buizen is de duurlijn bekend, en kunnen dus μ en σ worden bepaald. Bovendien zijn uit dezelfde reeks simulaties de GHG en GLG bekend.

In dit onderzoek is voor elke geohydrologische hoofdeenheid een relatie tussen μ en σ van de duurlijn en hulpinformatie bepaald. Voor kleinere deelgebieden zijn te weinig OLGA-buizen beschikbaar. In dit onderzoek is de aanpak als volgt:

- a). Over alle OLGA-buizen samen worden regressierelaties vastgesteld die μ en σ voorspellen mbt GHG en GLG.
- b). Op elke 25*25 m² gridcel van het AHN waarvan de GHG en GLG zijn berekend, kunnen nu ook de μ en σ 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 0,5, 1, .. 11,5 maanden kunnen dus 23 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.

2.6.3 Regimecurves

Regime-curves geven de verwachte grondwaterstand voor elke dag in enig toekomstig jaar onder de huidige klimaatscondities. In dit onderzoek wordt voor 24 dagen in het jaar (de 14^e en 28^e van elke maand) de verwachte grondwaterstand geschat voor elke OLGA-peilbuis. Deze schatting is gebaseerd op de 30-jaarse tijdreeks die in de tijdreeksanalyse is berekend. Voor een groep OLGA-buizen kan daarna een relatie worden bepaald tussen de GxG 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 waar de GxG is berekend, waarmee de regimecurve ook daar kan worden 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.

Regimecurves kunnen worden berekend door voor alle dagnummers de grondwaterstanden over de 30-jaarse klimaatsperiode te middelen. Normaliter beperkt de regimecurve zich tot verwachtingen op de 14^e en 28^e van elke maand indien deze geheel op 14-daagse metingen is gebaseerd. Bij het simuleren van tijdreeksen op dagbasis kunnen echter ook regimecurves op dagbasis worden

⁶ De temporele autocorrelatie beschrijft de samenhang van 2 metingen gedaan op dezelfde locatie maar op verschillende tijdstippen. Twee grondwaterstandsmetingen die kort na elkaar (enkele dagen) worden gedaan zullen in het algemeen onderling minder verschillen dan twee grondwaterstandsmetingen die met een grote tussenpoos (enkele weken) zijn gedaan. De samenhang van twee metingen als functie van het tijdsverschil wordt de temporele autocorrelatiefunctie genoemd.

gegenereerd. Omdat de regimecurve wordt verkregen uit middeling van gemeten grondwaterstanden, is de dynamiek van de regimecurve geringer dan het verschil tussen GHG en GLG.

In dit onderzoek is voor elke geohydrologische hoofdeenheid een relatie tussen de regime-curve en hulpinformatie bepaald. Voor kleinere deelgebieden zijn te weinig OLGA-buizen beschikbaar. De werkwijze om regime-curves vast te stellen voor alle 25*25 m² gridcellen is als volgt:

- a). Met behulp van een aantal gesimuleerde 30-jaarreeksen voor elk van de NITG-buizen wordt voor elk van de OLGA-buizen een regime-curve opgesteld. Dit resulteert bij een keuze voor een 14-daags interval in 24 twee-wekelijkse grondwaterstanden per OLGA-buis.
- b). Over alle OLGA-buizen samen wordt voor elk twee-wekelijks tijdstip een relatie bepaald die het punt op de regime-curve voorspelt m.b.v. de GHG, GVG en GLG. Dit leidt tot 24 regressiefuncties met de algemene vorm:

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

met D_t is de grondwaterstand op de regime-curve op tijdstip t ($t=1..24$) en $b_{0,t}$, $b_{1,t}$, $b_{2,t}$ en $b_{3,t}$ zijn 4 regressiecoëfficiënten voor elk tijdstip t .

- c). De 24 regressierelaties worden toegepast op elke 25*25 m² gridcel onder invulling van de GHG, GVG en GLG. Dit levert 24 punten van de regime-curve op elke 25*25 m² 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.

2.6.4 Kwel- en infiltratieklassen

Als de gemiddelde grondwaterstand over een reeks van jaren ondieper is dan de drooglegging en dit verschil niet geheel kan worden verklaard met het neerslagoverschot, dan is er sprake van een kwelsituatie. Hiermee is niets gezegd over de eventuele seizoensgebondenheid en de herkomst van de kwel. Op basis van deze globale definitie kan op elke locatie van een OLGA-peilbuis uit de tijdreeksparameters en de drooglegging de kwel(infiltratie-)sterkte worden berekend. Voor een groep OLGA-buizen kan daarna een relatie tussen GxG en drooglegging aan de ene kant en de kwel(infiltratie-)sterkte aan de andere kant worden bepaald, welke vervolgens op elke locatie van het AHN kan worden toegepast. De hieruit resulterende bestanden worden gepresenteerd in kwel/infiltratieklassen om een schijnnaauwkeurigheid te vermijden.

De in dit onderzoek gehanteerde definitie van kwel en infiltratie is: de netto opwaartse of neerwaartse flux ten opzichte van het GLG-niveau op jaarlijkse basis. Deze definitie wordt bepaald door het gehanteerde model waarmee de tijdreeksen worden berekend. In feite is in dit model de kwel/wegzijging een restpost, nl. het gemiddeld niveau van de grondwaterstand ten opzichte van de lokale drooglegging dat niet verklaard wordt door het gemiddeld neerslagoverschot. Een kwelsituatie bestaat als het gemiddelde van dit onverklaarde gedeelte (de parameter C uit het tijdreeksmodel) hoger ligt dan de gecorrigeerde drooglegging, anders is er een infiltratiesituatie. De kwelsterkte wordt berekend uit het quotiënt

$$q = (c - \text{drooglegging}) / g,$$

waarbij de drainageweerstand γ wordt berekend met de door KALTFN gefitte tijdreeksparameters w_0 en d_1 volgens (Knotters en Bierkens, 1999):

$$g = w_0 / (1 - d_1).$$

De parameter C wordt eveneens met het model KALTFN berekend. De drooglegging volgt uit de waterstand in de drainagemiddelen, en is berekend zoals beschreven in sectie 2.5.2.

Op de puntschaal (het punt waar het KALTFN-model wordt toegepast) gaat het dus om de verticale component van de kwel of wegzijging; of het om diepe, regionale of lokale kwel gaat is niet te zeggen. Ook is het niet te zeggen in welke ontwateringsmiddelen de wegzijging uiteindelijk terecht komt. Voor antwoorden op dit soort vragen moet een 3D-regionaal grondwatermodel worden gebruikt. Uit de gebruikte formulering volgt, dat de kwelsterkte lineair reageert op de drooglegging, en dus ook op de onzekerheid in de drooglegging.

In dit onderzoek is voor elke geohydrologische hoofdeenheid een relatie tussen de kwelsterkte en hulpinformatie bepaald. Voor kleinere deelgebieden zijn te weinig OLGA-buizen beschikbaar. Kwel- en infiltratie worden in 3 klassen gepresenteerd om schijnnaauwkeurigheid te vermijden: sterke kwel ($> 2\text{ mm/dag}$), matig sterke kwel ($0\text{--}2\text{ mm/dag}$) en infiltratie.

3 Werkwijze bij de berekening van de maatgevende afvoer

3.1 Inleiding

De afvoer van een gebied wordt bepaald door het neerslagoverschot, kwel/wegzijging, de berging en de waterhuishoudkundige inrichting van een gebied. De maatgevende afvoer is een gebiedsafvoer met een herhalingsstijd van 1 à 2 dagen per jaar. Voor de bepaling van de maatgevende afvoer wordt veelal gebruik gemaakt van een kennistabel. De huidige tabel uit het Cultuurtechnisch Vademecum is voornamelijk gebaseerd op bodem en Gt en heeft als kenmerk dat deze afgeleid is voor de toenmalige meer natuurlijke situatie (Tabel 3).

Tabel 3 Richtlijnen voor de grootte van de specifieke afvoer (tabel 4.2.1; Cultuurtechnische Vereniging, 1988).

Bodemgesteldheid en Gt-klasse	maatgevende afvoer	
	$l \cdot s^{-1} \cdot ha^{-1}$	$mm \cdot d^{-1}$
Drainage-behoefte gronden (polders) en gronden met Gt I, II en III	1,33 - 1,67	11,5 - 14,4
Zandgronden met Gt IV en V	1,00	8,6
Zandgronden met Gt V* en VI	0,67	5,8
Zandgronden met Gt VII	0,33	2,9
Bosgebieden en overige gronden zonder zichtbare afvoer met Gt VII	0,10	0,9

Opmerkingen bij tabel

- Voor gebieden met kwel wordt de afvoernorm verhoogd.
- De Gt kan veranderen ten gevolge van werken aan het ontwaterings- en/of het afwateringsstelsel. In Noord-Brabant wordt in zandgebieden bij verbetering van het primaire afwateringssysteem op basis van de normen uit de tabel, voor de kleinere waterlopen van een 25% lagere afvoernorm uitgegaan.

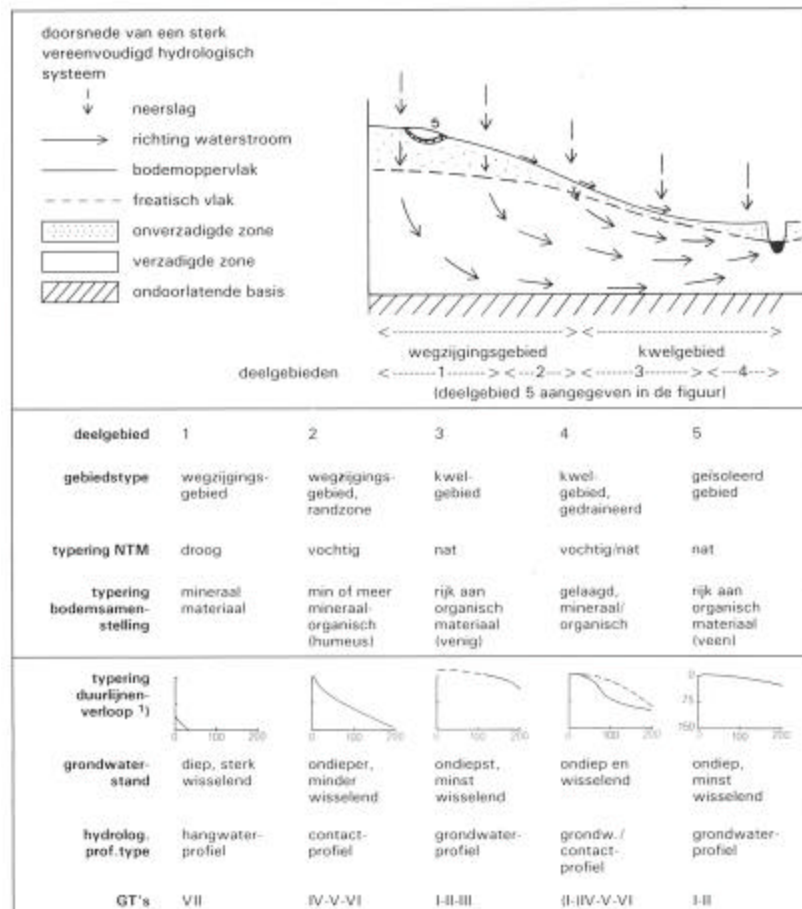
Onder natuurlijke omstandigheden is de specifieke afvoer in hoge mate afhankelijk van de ligging in het landschap. In de onderstaande figuur is een schematische doorsnede van een beekdal weergegeven (Figuur 9).

De grondwatertrap (Gt) onder natuurlijke omstandigheden is een afspiegeling van het landschap en de bijbehorende natuurlijke ontwatering, waardoor een eenduidige schatting van de maatgevende afvoer mogelijk is. Als gevolg van ingrepen in een gebied gaat de eenduidige relatie tussen de Gt en de specifieke gebiedsafvoer niet meer op. De specifieke afvoer wordt bepaald door de volgende hydrologische factoren:

1. Kwel/wegzijging;
2. Grondwateraanvulling;
3. Bergingsrelatie van de bodem.

Als gevolg van waterhuishoudkundige ingrepen kunnen de bovengenoemde hydrologische factoren op de volgende manier veranderen:

- Ad 1) Kwel/wegzijgingsveranderingen kunnen veroorzaakt worden door onttrekkingen en veranderingen in de waterhuishoudkundige inrichting (drainage, peilveranderingen) ter plaatse of in de nabije omgeving.
- Ad 2) Veranderingen in de grondwateraanvulling worden veroorzaakt door veranderingen in het grondgebruik en waterhuishoudkundige ingrepen. Beide veranderingen hebben tot gevolg dat de gewasverdamping en de bergingcoëfficiënt veranderen.
- Ad 3) Onttrekkingen en waterhuishoudkundige ingrepen zoals peilveranderingen en inrichtingsveranderingen kunnen de grondwaterstand en zodoende ook de beschikbare berging beïnvloeden.

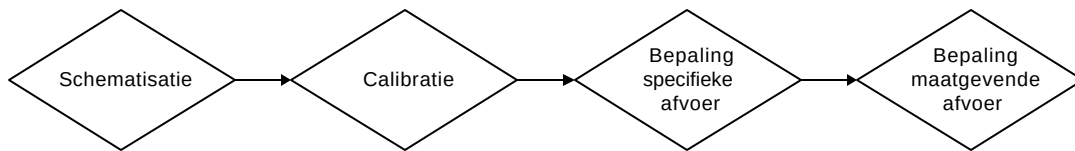


Figuur 9 Doorsnede door een beekdal (SWNBL, 1990)

Gezien de mogelijke ingrepen in een gebied zal er een nieuwe tabel voor de specifieke afvoer opgesteld moeten worden voor Gt's in zowel de natuurlijke als de huidige situatie. Naast de bodemgesteldheid en de Gt zijn nog andere karteerbare kenmerken noodzakelijk. Hierbij kan gedacht worden aan het grondgebruik, maaiveld, kwel/wegzijgingsgegevens en de ligging van buisdrainage.

3.2 Globale werkwijze

De globale werkwijze voor de bepaling van de maatgevende afvoer bestaat uit 4 hoofdonderdelen (Figuur 10). Alvorens de specifieke afvoer bepaald kan worden is er een gebiedsschematisatie opgesteld aan de hand van karteerbare kenmerken.



Figuur 10 Globale werkwijze bij de bepaling van de maatgevende afvoer

Per schematisatie-eenheid is vervolgens het model SWAP gekalibreerd. Bij de kalibratie is de onderrand van het model in de vorm van een diepe sinus-vormige potentiaal en een c-waarde gekalibreerd op de Gt. Binnen de schematisatie-eenheden kan vervolgens gerekend worden met dezelfde onderrand. De overige invoergegevens zoals bodem, kenmerken van het oppervlaktewatersysteem en de drainageweerstand worden karteerbaar of berekenbaar verondersteld, en zijn direct of indirect in de gebiedsschematisatie opgenomen. Aan de hand van de modelberekeningen zijn vervolgens kennistabellen gegenereerd met een specifieke afvoer per set van karteerbare kenmerken. Voor de bepaling van de maatgevende afvoer is de specifieke afvoer per afwateringseenheid naar rato van het oppervlak gesommeerd.

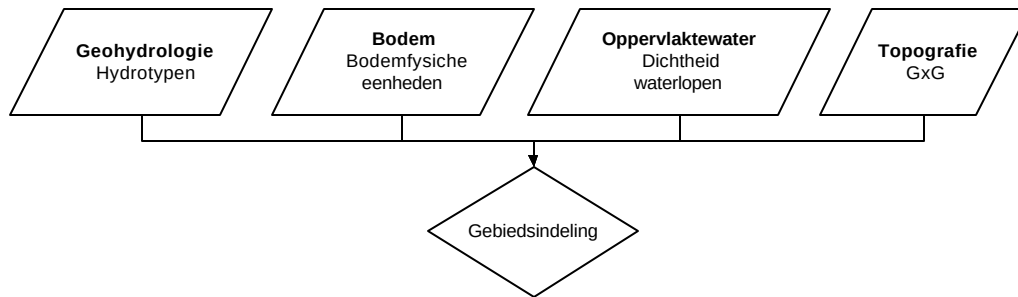
3.3 Schematisatie

Voor de bepaling van de specifieke afvoer is een gebiedsschematisatie noodzakelijk. De volgende factoren zijn van invloed op de gebiedsafvoer:

- Geohydrologie;
- Bodem;
- Waterhuishoudkundige inrichting (dichtheid en afmetingen van waterlopen);
- Peilbeheer;
- Topografie;
- Grondgebruik;
- Kwel/wegzijging;

Bij de gebiedsschematisatie is het van belang om het gebied in te delen op basis van karteerbare kenmerken. Het merendeel van de bovengenoemde factoren zijn direct of indirect te beschouwen als karteerbare kenmerken. De belangrijke factor kwel is echter niet meet- en karteerbaar. De kwel, of wegzijging, kan alleen aan de hand van model- of balansberekeningen worden bepaald. Mede hierom is er voor gekozen om het model SWAP te kalibreren voor de onderrand. Aan de hand van het onderstaande schema (Figuur 11) is het gebied geschematiseerd. Bij de

gebiedsindeling aan de hand van karteerbare kenmerken is zoveel mogelijk getracht relevante kenmerken voor de maatgevende afvoer op te nemen.



Figuur 11 Schematisatie

Hydrotypen

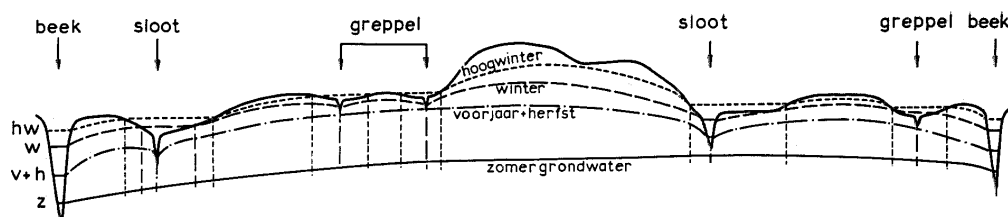
De geohydrologische eigenschappen van de ondiepe ondergrond (topstelsel) zijn vooral bepalend voor de drainageweerstand (Massop e.a., 1997). Bij het samenstellen van een afgeleide kaart met een geohydrologische indeling (voor de eigenschappen van het topstelsel), is ernaar gestreefd om zoveel mogelijk de Geologische Overzichtskaart van Nederland (schaal 1 : 600 000) (Zagwijn e.a., 1975) als uitgangspunt te nemen. Deze kaart geeft een goede afspiegeling van de ondiepe ondergrond, het topstelsel, met o.a. de samenstelling van de Holocene deklaag en het ondiep voorkomen van lemlagen. Daarnaast is vooral voor het Pleistocene gebied gebruik gemaakt van aanvullende informatie uit de studie “Kwetsbaarheid van het grondwater” (Boumans e.a., 1987). In deze studie is de ondergrond geschematiseerd in een aantal profieltypen op basis van de opbouw van de deklaag en eventuele weerstandbiedende lagen in de ondergrond, zoals Brabantleem (Centrale Slenk).

Bodem

Voor de schematisatie op basis van de bodem zijn voornamelijk de bodemfysische kenmerken van belang. Bij de bepaling van de bodemfysische kenmerken van de bodem worden de bodems volgens de bodemkaart 1 : 50 000 geclassificeerd naar een beperkt aantal van 21 bodemprofielen. Hiervoor zijn dezelfde 21 bodemprofielen onderscheiden als bij de generalisatie van de bodemkaart 1 : 250 000 (Wösten et al, 1988) ten behoeve van de PAWN-studie. Voor deze 21 bodems is de profielopbouw alsmede de omschrijving van het materiaal bekend.

Oppervlaktewater

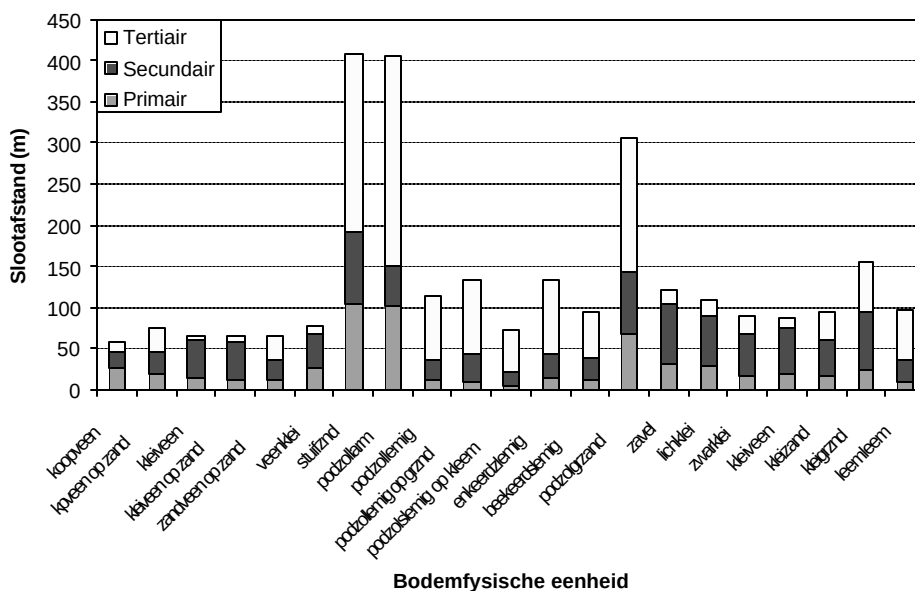
Van ontwatering is sprake, indien overtollig water aan de grond wordt onttrokken. De ontwateringsmiddelen die hiertoe, al dan niet in combinatie, kunnen worden toegepast zijn greppels, buisdrainages, perceel- en kavelsloten. Onder natte omstandigheden zijn alle ontwateringsmiddelen watervoerend. De ontwateringsafstand en de drainageweerstand is hierdoor relatief gering. In drogere omstandigheden kan het detail-ontwateringsstelsel droogvallen, waardoor de ontwateringsafstand en de drainageweerstand toenemen. In onderstaande figuur is voor een hellend gebied, het effect van de grondwaterstand op de ontwateringsafstand schematisch weergegeven (Figuur 12).



Figuur 12 Verkleining van de ontwateringsafstand bij stijgend grondwaterpeil (Bon, 1968)

Aangezien de ontwateringsafstand de meest bepalende factor is voor de drainage-weerstand is deze parameter gebruikt bij de schematisatie.

Een schematisatie op basis van meerdere drainagesystemen zal leiden tot zeer veel schematisatie eenheden. Een bijkomend probleem bij de schematisatie op basis van de slootdichtheid is het vaststellen van klassengrenzen die altijd arbitrair gekozen moeten worden. De gemiddelde slootafstand blijkt voor een groot deel afhankelijk te zijn van het bodemtypen en de hydrotypen. In Figuur 13 is de relatie tussen de gemiddelde slootafstand en het bodemtype weergegeven. Naast de gemiddelde slootafstand voor het totale aantal waterlopen is ook het aandeel van de afzonderlijke ontwateringsystemen weergegeven. In de figuur is duidelijk te zien dat de gemiddelde slootafstand toeneemt naarmate het bodemmateriaal beter doorlatend is. Ook het aandeel van het tertiaire ontwateringsysteem is groter bij gronden die beter doorlatend zijn. Vooral in klei en veengronden is het aandeel van het tertiaire systeem gering. Analyse van deze gegevens heeft er toe geleid dat de ontwateringsafstand uiteindelijk niet is gebruikt bij de schematisatie. De combinatie van hydrotype en bodemtype blijkt een hoge verklaring te geven voor de gemiddelde slootafstand.



Figuur 13 Gemiddelde slootafstand en het aandeel per klassen van waterlopen voor verschillende bodemtypen

3.4 Invoergegevens

Meteorologische gegevens

Voor de meteorologische invoergegevens is gebruik gemaakt van de KNMI-meetstations voor de periode 1989-1999. De gemeten neerslaghoeveelheden voor de neerslagstations wordt representatief geacht voor het dichtstbijzijnde gebied. Voor het toekennen van de neerslaggegevens is daarom het dichtstbijzijnde gebied met behulp van Thiessen-polygonen bepaald. Voor de referentie gewasverdamping volgens Makkink zijn de gegevens van het meetstation Eindhoven (Vliegbasis; Vb) voor het gehele gebied gebruikt.

Bodemkundige gegevens

Voor de bepaling van de bodemfysische kenmerken van de bodem worden de bodems volgens de bodemkaart 1 : 50 000 vertaald naar een beperkt aantal van 21 bodemprofielen. Hiervoor zijn dezelfde 21 bodemprofielen onderscheiden als bij de generalisatie van de bodemkaart 1 : 250 000 (Wösten et al, 1988) ten behoeve van de PAWN-studie. Voor deze 21 bodems is de profielopbouw alsmede de omschrijving van het materiaal bekend. Op basis van de omschrijving van het materiaal worden bodemfysische bouwstenen toegekend (Staringreeks).

Grondgebruik

Voor het grondgebruik wordt het LGN3 bestand gebruikt. Aan de hand van het LGN bestand zal een vertaling gemaakt worden naar invoer voor het model voor de volgende vormen van grondgebruik: gras, bouwland.

Oppervlaktewater gegevens

Als bron voor de bepaling van de dichtheden aan waterlopen wordt de Top10-vector gebruikt. Binnen dit digitale bestand worden 4 klassen van waterlopen onderscheiden, nl:

- greppels en droogvallende waterlopen;
- sloten smaller dan 3 m;
- sloten 3-6 m;
- sloten breder dan 6m.

Voor de berekeningen met SWAP worden maximaal 5 drainagesystemen onderscheiden. Hierbij is gebruik gemaakt van de volgende indeling:

Tabel 3 Indeling van de drainagesystemen voor de SWAP-berekeningen

Niveau	Drainagesysteem	Omschrijving
1	Primair	Waterlopen 3 - 6 meter en waterlopen breder dan 6 meter
2	Secundair	Waterlopen smaller dan 3 meter
3	Tertiair	Greppels en droogvallende waterlopen
4	Buisdrainage ¹	Drainagekaart
5	Maaiveld drainage	Gehele gebied

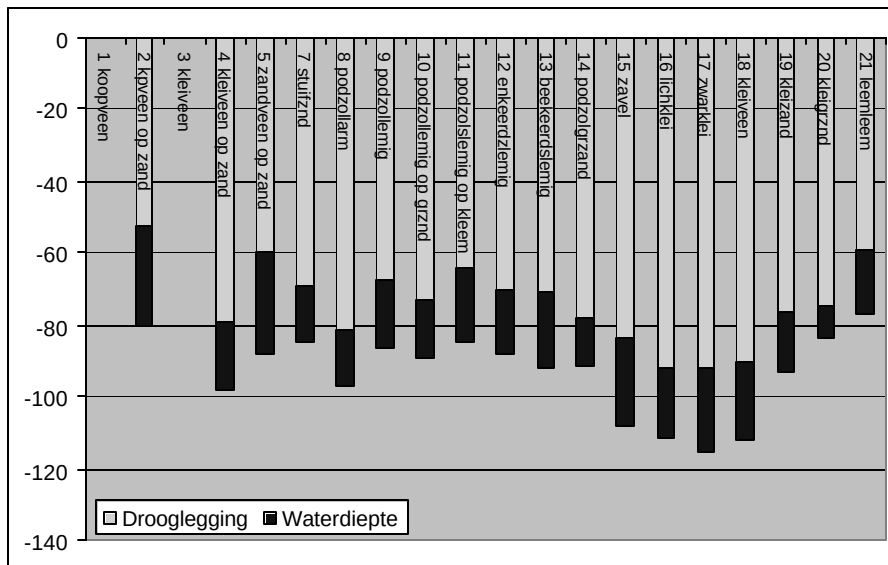
¹ De buisdrainage kan op het 3^e niveau liggen indien deze dieper ligt dan het tertiaire systeem

Voor de drainageweerstand voor de afzonderlijke ontwateringsystemen is gebruik gemaakt van de formule van Ernst voor open waterlopen. Voor de buisdrainage is

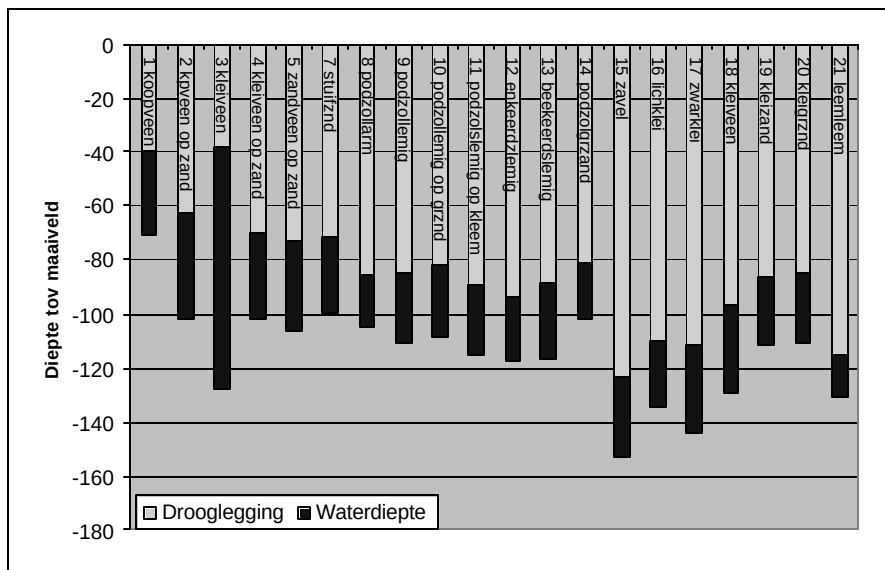
een drainageweerstand van 100 dagen aangehouden. De maaiveld drainage heeft een weerstand van 30 dagen, welke afneemt naar 15 dagen indien de grondwaterstand tot in maaiveld komt.

Naast de slootafstand en de drainageweerstand zijn gegevens over de ontwateringbasis en de drooglegging nodig voor de SWAP simulaties. De diepte van de waterlopen zal afhankelijk zijn van het bodemtype en de GT. Gedurende het veldwerk is op een groot aantal locaties de slootdiepte en de waterdiepte gemeten. Om de veldmetingen te kunnen classificeren aan klassen van waterlopen zijn de veldmetingen gekoppeld aan het Top10vector-bestand. Het betreft meer dan 4000 metingen in waterlopen die voornamelijk behoren tot het secundaire en tertiaire ontwateringsstelsel.

Voor zowel het secundaire als het tertiaire systeem blijkt er een goede correlatie te zijn tussen het bodemtype en de afmetingen (Figuur 14 en 15). De veengronden hebben waterlopen met een geringe diepte en een grote waterdiepte. Hierdoor is de ontwateringbasis voor deze gronden relatief gering. De kleigronden hebben over het algemeen een diepe ligging van de waterlopen. Vooral bij de tertiaire waterlopen is er een lichte toename van de diepte te zien bij een afname van de doorlatendheid van het materiaal. Voor de zandgronden zijn de verschillen gering.



Figuur 14 Diepte en Drooglegging van het tertiaire ontwateringsstelsel per bodemtype. Type 1 en 3 komen niet voor.



Figuur 15 Diepte en Drooglegging van het secundaire ontwateringssysteem per bodemtype

3.5 Kalibratie

Bij het toepassen van SWAP wordt voor de onderrand veelal gebruik gemaakt van kwel/wegzijging. De onderrand van het model in termen van kwel/wegzijging, met een periodiciteit en een amplitude per schematisatie eenheid, voldoet niet voor de toepassing in dit project. De kwel/wegzijging ligt hiermee namelijk vast terwijl maaiveldverschillen op locale schaal lokale verschillen in kwel/wegzijging veroorzaken. Het bovenstaande probleem kan worden opgelost indien er een kalibratie van het SWAP-model plaatsvindt op de onderrand aan de hand van grondwaterstandreeksen. Indien voor de onderrand gebruik gemaakt wordt van een diepe sinus-vormige potentiaal en een c-waarde kan de kwel/wegzijging afhankelijk gemaakt worden van de freatische grondwaterstand. Op deze manier kunnen de effecten van maaiveldverschillen wel in beeld gebracht worden.

3.5.1 Vooronderzoek

Voor het bepalen van de te hanteren kalibratieprocedure zijn 3 peilbuizen onderzocht. Voor deze peilbuizen zijn verschillende opties voor de mogelijke kalibratie opgezet. Het betreft een nat, gemiddeld en een droog meetpunt. De uitkomsten van de kalibratie zijn weergegeven in bijlage 4. In eerste instantie is bij de kalibratie gebruik gemaakt van de modelinvoer die in het kader van het project STONE is opgezet (Kroon, e.a. 2001). In de figuren voor de uitgangssituatie (bijlage 4) is te zien dat de modelinvoer niet overeenstemt met de gegevens van het betreffende meetpunt. Dit verschil mag ook verwacht worden aangezien STONE landelijk is opgezet voor de regionale schaal.

De kalibratie is in eerste instantie gericht op de onderrand (zie kader), waarbij 5 parameters zijn gekalibreerd. In de onderrand voorwaarde zitten de volgende parameters:

f_{drain} :	Drainniveau (cm)	gekalibreerd
β_{gwl} :	Vormfactor (-)	0.79 (elliptic)
c_{conf} :	De verticale weerstand van de scheidende laag (d)	gekalibreerd
$f_{\text{aquif,m}}$:	Gemiddelde stijghoogte in het diepe pakket (cm)	gekalibreerd
$f_{\text{aquif,a}}$:	Amplitude van de stijghoogte in het diepe pakket (cm)	gekalibreerd
$f_{\text{aquif,p}}$:	De periodelengte (d)	365 dagen
t_{max} :	De dag waarop de diepe stijghoogte maximaal is (d)	gekalibreerd

Bij de kalibratie bleek het drainniveau en de gemiddelde diepe stijghoogte onderling sterk gecorreleerd te zijn. De berekening van de gemiddelde freatische grondwaterstand aan de hand van het drainniveau en de vormfactor heeft tot gevolg dat het stijghoogteverschil tussen de freatische grondwaterstand en de diepe stijghoogte wordt afgevlakt. Aangezien er een sterke correlatie bestaat is de correctie van de freatische grondwaterstand in tweede instantie uitgeschakeld, door de shapefactor op 1 te zetten. Dit komt overeen met de hypothese dat het grootste deel van de drainageweerstand geconcentreerd is rond de waterloop, het zogenaamde tafelman model van de grondwaterstand, wat in dit gebied aannemelijk is.

Onderrand

Voor de berekeningen met SWAP (Van Dam e.a., 1997) is voor deze toepassing gekozen voor de Cauchy onderrand voorwaarde, waarbij de flux over de onderrand afhankelijk is van de grondwaterstand (figuur a).

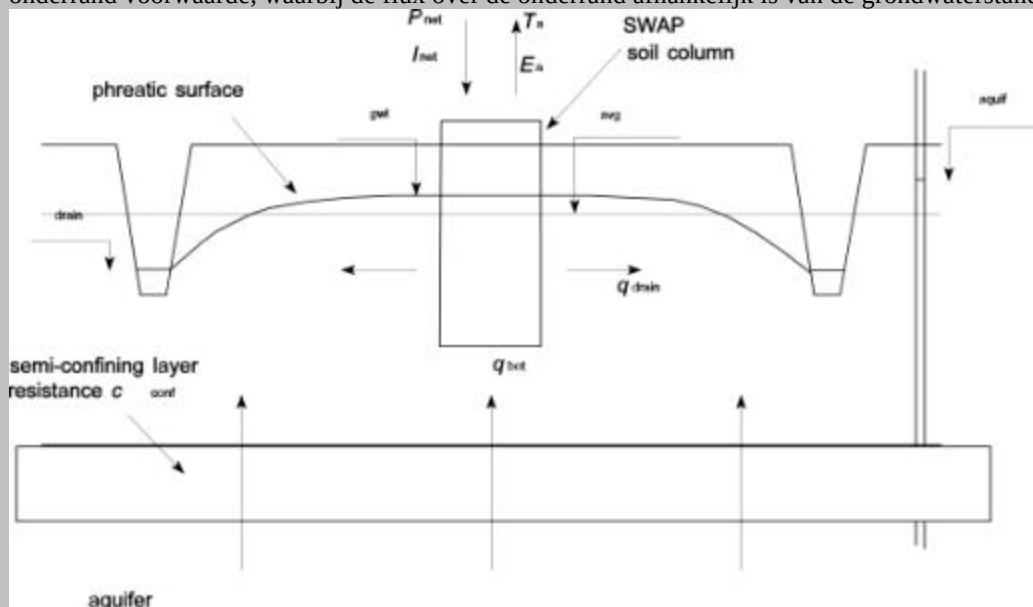


fig. a Pseudo twee-dimensionale Cauchy onderrand voorwaarde.

De onderrandflux wordt berekend als een functie van de grondwaterstand. De gemiddelde freatische grondwaterstand f_{avg} (cm), wordt met behulp van de volgende formule berekend:

$$f_{avg} = f_{drain} + b_{gw} (f_{gw} - f_{drain}) \quad (1)$$

Waarin:

f_{drain} : Drainniveau (m)

f_{gw} : Grondwaterstand (m)

b_{gw} : Vormfactor (-). (0.66 (parabolic), 0.64 (sinusoidal), 0.79 (elliptic) and 1.00 (no drains)).

De onderrand flux q_{bot} wordt berekend met behulp van de volgende formule:

$$q_{bot} = \frac{f_{aquif} - f_{avg}}{c_{conf}} \quad (2)$$

Waarin:

f_{aquif} : De stijghoogte in het eerste watervoerend pakket (m)

c_{conf} : De verticale weerstand van de scheidende laag (d)

In de aquifer wordt een sinus-vormig verloop verondersteld, welke wordt berekend met behulp van de volgende formule:

$$f_{aquif} = f_{aquif,m} + f_{aquif,a} \cos\left(\frac{2p}{f_{aquif,p}}(t - t_{max})\right) \quad (3)$$

Waarin:

$f_{aquif,m}$: Gemiddelde stijghoogte in het diepe pakket (m)

$f_{aquif,a}$: Amplitude van de stijghoogte in het diepe pakket (m)

$f_{aquif,p}$: De periodelengte (d)

t_{max} : De dag waarop de diepe stijghoogte maximaal is (d)

Processen

Om meer fluctuatie in het grondwaterstandverloop te krijgen is gekeken in hoeverre processen in de bodem, zoals hysteresis en preferente stroming, hierop van invloed zijn. Hysteresis blijkt niet veel effect te hebben op de fluctuatie van de grondwaterstand. Dit kan verklaard worden door de veranderingen in de gekalibreerde onderrand. De wegzijging krijgt namelijk minder variatie door een kleinere c-waarde en kleinere amplitude van de diepe stijghoogte (Tabel 4).

Tabel 4 Resultaten van de kalibratie voor de gekalibreerde onderrand

Locatie	Variant	C _{conf}	f _{aquif,m}	f _{aquif,a}	t _{max}	Correlatie	Error
Droog	Onderrand (shp = 0.79)	471	-185.6	21.7	325	0.88	21.2
Droog	Onderrand (shp = 1)	505	-190.1	20.0	1	0.87	21.5
Droog	Onderrand (shp = 1) hysteresis	481	-189.2	1.0	105	0.73	31.0
Droog	Onderrand (shp = 1) mob-inm	511	-203.2	25.6	107	0.85	23.6
Droog	Onderrand (shp = 1) hysteresis cal	526	-193.0	64.2	334	0.83	24.9
Droog	Onderrand (shp = 1) mob-inm cal	555	-192.7	1.0	112	0.88	20.8
Gem	Onderrand (shp = 0.79)	218	-129.9	6.6	46	0.86	9.3
Gem	Onderrand (shp = 1)	270	-137.0	8.4	43	0.86	9.3
Gem	Onderrand (shp = 1) hysteresis	203	-132.5	14.3	365	0.77	11.7
Gem	Onderrand (shp = 1) mob-inm	220	-138.5	18.0	28	0.82	11.1
Gem	Onderrand (shp = 1) mob-inm cal	513	-152.6	1.0	101	0.85	9.8
Nat	Onderrand (shp = 1)	2268	30.2	41.6	164	0.84	16.8
Nat	Onderrand (shp = 1) hysteresis	1472	-15.3	2.1	180	0.84	17.1
Nat	Onderrand (shp = 1) mob-inm	503	-47.6	19.4	90	0.76	20.8
Nat	Onderrand (shp = 1) mob-inm cal	2415	38.3	45.4	167	0.84	16.8

Shp: shapefactor; mob-inm: mobiel-inmobiel; cal: proces is meegekalibreerd.

Een deel van de te verwachten fluctuatie als gevolg van hysteresis wordt dus tenietgedaan door veranderingen in de onderrand. Bij het gebruik van preferente stroming is een duidelijk verschil te zien. Het grondwaterstandverloop is duidelijk piekeriger doordat een deel van de bodem niet meer meedoet met de stroming. Dit piekerige verloop van de grondwaterstand is vooral van invloed op de maatgevende afvoer (Tabel 5). Bij de berekeningen neemt de maatgevende afvoer sterk toe als gevolg van het piekerige verloop van de grondwaterstand, waarbij de grondwaterstand relatief vaak tot in maaiveld komt. Het effect op de Gt is relatief gering. De kwel/wegzijging neemt over het algemeen ook toe en heeft een grotere fluctuatie. Bij het mee kalibreren van de fractie tussen mobiel en immobiel, voor zowel de boven als de ondergrond, wordt de immobiele fractie in de meeste gevallen weggekalibreerd.

Tabel 5 Resultaten van de kalibratie op de Gt en afvoer

Locatie	Variant	Gt	GHG	GVG	GLG	Q1	Q15
Droog	Onderrand (shp = 0.79)	VIIId	-117.9	-131.9	-195.9	0.4	0.2
Droog	Onderrand (shp = 1)	VIIId	-120.7	-128.0	-200.6	0.3	0.1
Droog	Onderrand (shp = 1) hysteresis	VIIIo	-140.5	-138.6	-176.8	0.1	0.0
Droog	Onderrand (shp = 1) mob-inm	VIIId	-107.3	-134.4	-209.1	4.1	0.2
Droog	Onderrand (shp = 1) hysteresis cal	VIIId	-121.1	-129.5	-197.2	0.2	0.1
Droog	Onderrand (shp = 1) mob-inm cal	VIIId	-117.2	-129.3	-202.2	0.4	0.2
Gem	Onderrand (shp = 0.79)	VIIo	-93.1	-105.6	-130.1	4.6	1.5
Gem	Onderrand (shp = 1)	VIIo	-93.9	-106.2	-133.4	4.7	1.5
Gem	Onderrand (shp = 1) hysteresis	VIIo	-95.1	-104.8	-123.9	3.8	1.4

Locatie	Variant	Gt	GHG	GVG	GLG	Q1	Q15
Gem	Onderrand (shp = 1) mob-inm	VIIo	-85.4	-111.6	-137.8	9.4	2.2
Gem	Onderrand (shp = 1) mob-inm cal	VIIo	-93.9	-106.9	-132.3	5.4	1.9
Nat	Onderrand (shp = 1)	IIIb	-26.6	-54.8	-109.3	12.3	3.8
Nat	Onderrand (shp = 1) hysteresis	IIIb	-30.7	-54.0	-96.9	10.6	3.4
Nat	Onderrand (shp = 1) mob-inm	IIIa	-24.7	-57.6	-110.4	16.6	5.0
Nat	Onderrand (shp = 1) mob-inm cal	IIIb	-26.5	-54.7	-109.0	12.4	3.8

Shp: shapefactor; mob-inm: mobiel-inmobiel; cal: proces is meegekalibreerd.

Q1: maatgevende afvoer; Q15: afvoer met een herhalingstijd van 15 dagen per jaar ($\approx$ halve maatgevende afvoer).

Voor het droge meetpunt (1) worden de diepe grondwaterstanden niet altijd goed gesimuleerd. De drainageweerstand in STONE zijn voor deze locatie erg hoog en de grondwaterstand zit gedurende lange tijd onder de ontwateringsbasis van 1.6 m. Voor het desbetreffende punt is de ontwateringsbasis waarschijnlijk te gering. Een tweede mogelijke verklaring voor het niet goed simuleren van de diepe grondwaterstanden is wellicht de onderrand. Bij de onderrand wordt o.a. de periodiciteit van de diepe stijghoogte gekalibreerd. Deze is vervolgens voor ieder jaar gelijk en heeft invloed op de periode waarin de kwel/wegzijging maximaal is. In werkelijkheid zal de top van de kwel/wegzijging afhankelijk zijn van het neerslagverloop dat per jaar kan verschillen. Voor de hoge grondwaterstanden kan de verschuiving van de pieken gedeeltelijk afgevangen worden door drainage. Bij de lagere grondwaterstanden is geen interactie meer met het oppervlaktewater, waardoor de jaarlijkse fluctuaties van de piek meer invloed heeft op de grondwaterstand. De mate waarin de jaarlijkse fluctuaties van de diepe stijghoogte van invloed is op de kwel/wegzijging is weer afhankelijk van de gekalibreerde c-waarde van de scheidende laag. Dit komt ook tot uiting in de uitkomsten voor de drie testlocaties. De diepe grondwaterstanden voor het natte punt (punt 3) worden namelijk wel goed gesimuleerd. Voor deze locatie is een hoge c-waarde gekalibreerd (zie bijlage 4). In de bijlage is ook te zien dat de fluctuaties van de kwel/wegzijging als gevolg van de hoge c-waarde veel meer sinusvormig is dan de overige twee meetpunten.

Kalibratie op de Gt

Om aan te kunnen sluiten op de Gt-actualisatie is de onderrand vervolgens gekalibreerd op de Gt. Hierbij is gebruik gemaakt van de gemiddeld hoogste grondwaterstand (GHG), gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand (GVG), en de gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG). De GHG is bepaald aan de hand van de drie hoogste standen (HG3) op de 14 en de 28 voor het winterhalfjaar dat loopt van 1 oktober tot 1 april. De GVG is bepaald met de grondwaterstanden op 14 en 28 maart en 14 april (VG3). De GLG is berekend voor het zomerhalfjaar van 1 april tot 1 oktober. De resultaten van de kalibratie op de Gt komen grotendeels overeen met de kalibratie op de tijdreeks. Vooral het grondwaterstandverloop komt goed overeen met de kalibratie op de metingen (bijlage 4). Ook de gesimuleerde maatgevende afvoer is voor het droge punt voor beide methoden identiek. De gesimuleerde kwel/wegzijing kent bij kalibratie op de Gt wel meer fluctuatie. Voor het tweede punt is de fluctuatie van de kwel iets afgenomen bij kalibratie op de Gt. Het grondwaterstandverloop wordt voor dit punt goed gesimuleerd en de maatgevende afvoer is iets toegenomen van 4,8 naar 5,4 mm.

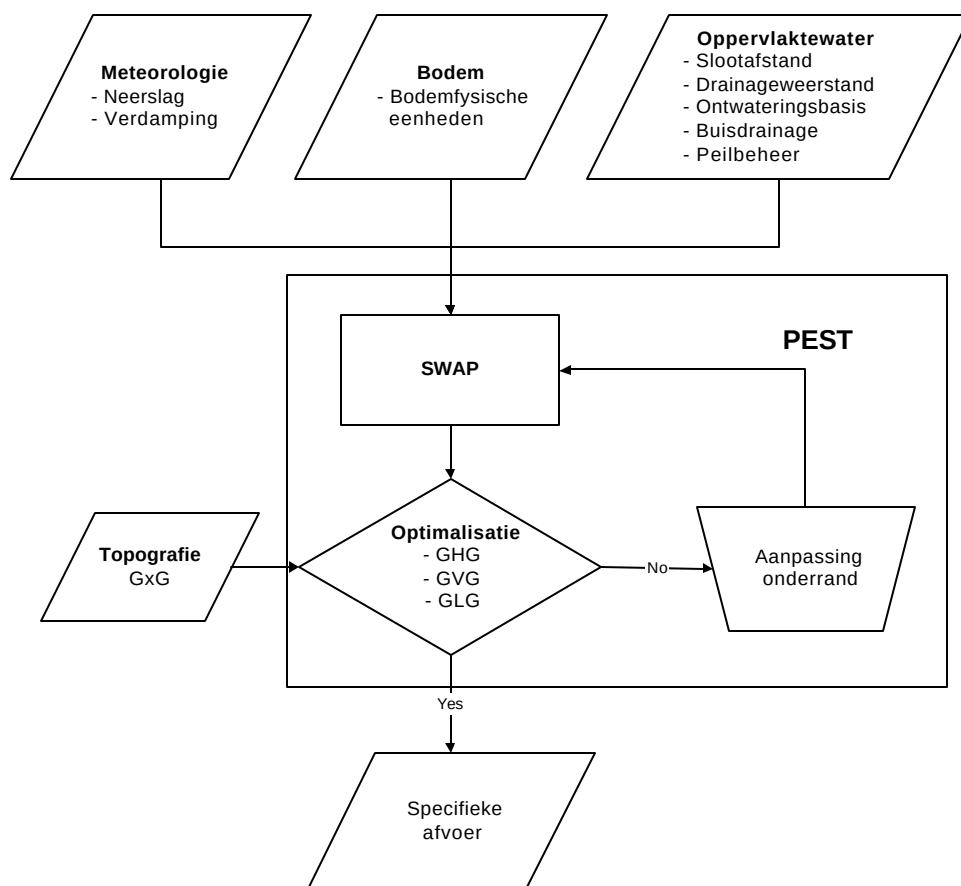
Voor het natte meetpunt (punt 3) zijn in eerste instantie grote afwijkingen gesimuleerd. Bij de simulatie op Gt is een maatgevende afvoer van 22,5 mm en een kwel met uitschieters tot 6,5 mm/dag gesimuleerd. Voor deze Gt IIIa blijkt buisdrainage voor te komen in de STONE data. Buisdrainage voor deze Gt in een zwak lemige Podzol zal waarschijnlijk niet voorkomen. Na verwijdering van de buisdrainage in het model en het opnieuw kalibreren op de Gt werden geheel andere resultaten gesimuleerd. De gesimuleerde kwel is reëel en de gesimuleerde maatgevende afvoer bedraagt 14,3 mm/d.

Conclusie

De kalibratie van de onderrand in de vorm van een diepe sinusvormige potentiaal met een c-waarde blijkt een krachtige methodiek voor de kalibratie van SWAP. De simulatie van de grondwaterstand is met deze methodiek in alle gevallen acceptabel. Bij het gebruik van deze methodiek is het echter van belang om naast de resultaten van de gesimuleerde grondwaterstanden ook de gesimuleerde afvoer en kwel/wegzijing te controleren. Alleen bij controle van al deze gegevens is het mogelijk om te controleren of het gekalibreerde model is opgezet met een reële parameterset. Vooral bij kalibratie op de Gt is het mogelijk om te controleren of de gebruikte parameterset reëel is.

3.5.2 Kalibratieprocedure

De kalibratie van de onderrand heeft plaatsgevonden met het programma PEST. Voordat de kalibratie kan plaatsvinden wordt het model SWAP voor de schematisatie-eenheden opgezet. Bij de kalibratieprocedure (Figuur 16) vind er een modelberekening plaats, waarna de berekende grondwaterstand wordt vergeleken met de geactualiseerde Gt. Indien de berekende grondwaterstanden te veel afwijken van de gemeten waarden wordt de onderrandvoorwaarde van het model aangepast en vind er opnieuw een berekening plaats. Het herhalen en aanpassen van de onderrandvoorwaarde gaat door totdat de berekende waarden voldoen aan het gestelde criterium.



Figuur 16 Kalibratie

3.5.3 Optimalisatie

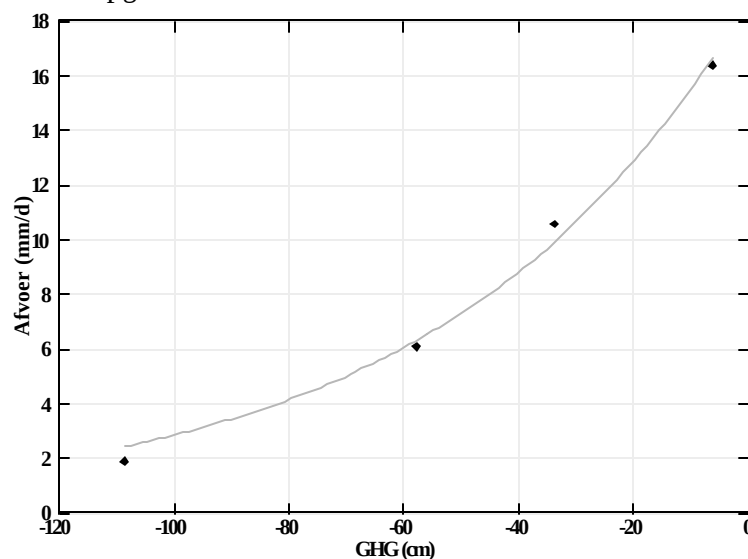
De schematisatie, zoals beschreven in paragraaf 3.2, bestaat uit het indelen van het gebied op basis van een aantal karteerbare kenmerken, welke de verschillen in de specifieke afvoer kunnen verklaren. Als hoofdindeling is gebruik gemaakt van een schematisatie op basis van de volgende kenmerken:

- opbouw van de diepe ondergrond (hydrotype);
- eigenschappen van de ondiepe ondergrond (bodem);
- eigenschappen van de ontwateringsmiddelen (dichtheid waterlopen).

De optimalisatieprocedure is opgezet voor de situatie met en zonder buisdrainage. Voor de situatie zonder buisdrainage is binnen de hoofdindeling gekeken naar de variatie in de GT. Om het aantal berekeningen te beperken zijn 4 Gt's geselecteerd. Bij de selectie van de 4 Gt's is gekeken naar grondwatertrappen die veel voorkomen. Daarnaast zijn de Gt's zodanig gekozen dat het gehele Gt-traject beschreven wordt. Voor de situatie met buisdrainage zijn 3 Gt's geselecteerd. De optimalisatie is uitgevoerd voor een periode van 11 jaar (1989-1999).

3.6 Bepaling van de specifieke afvoer aan de hand van SWAP-simulaties

Voor de neerschaling van de specifieke afvoer is uitgegaan van de gekalibreerde modellen (paragraaf 3.5). Met deze gekalibreerde modellen is een tijdreeks van 30 jaar doorgerekend, zodat de specifieke afvoer klimaatrepresentatief kan worden vastgesteld. De resultaten van deze berekeningen zijn vervolgens vertaald naar een kennistabel waarin per schematisatie-eenheid en GT een specifieke afvoer is weergegeven (bijlage 5). Om de specifieke afvoer vlakdekkend in te vullen is hulpinformatie noodzakelijk. Voor het gebruik van hulpinformatie is het van belang dat deze vlakdekkend beschikbaar is. Binnen een schematisatie-eenheid is er een geleidelijk afname van de specifieke afvoer te zien naarmate de Gt droger wordt (bijlage 5). De mate waarin de specifieke afvoer afneemt kan per schematisatie-eenheid sterk verschillen. De bovenstaande aspecten hebben er toe geleid dat er per schematisatie-eenheid een eenvoudig metamodel is opgesteld waarin de relatie is weergegeven tussen de specifieke afvoer en de vlakdekkend bekende GHG (Figuur 17). Het betekent echter niet dat er een directe (oorzakelijke) relatie bestaat tussen de GHG en de specifieke afvoer met een herhalingsstijd van een maal per jaar. Het gebruik van de GHG als hulpinformatie voor de specifieke afvoer is alleen mogelijk doordat er voor elke combinatie van hydrotype en bodemfysische eenheid een metamodel wordt opgesteld.



Figuur 17 Metamodel voor de relatie tussen de GHG en de specifieke afvoer

3.7 Bepaling van de maatgevende afvoer

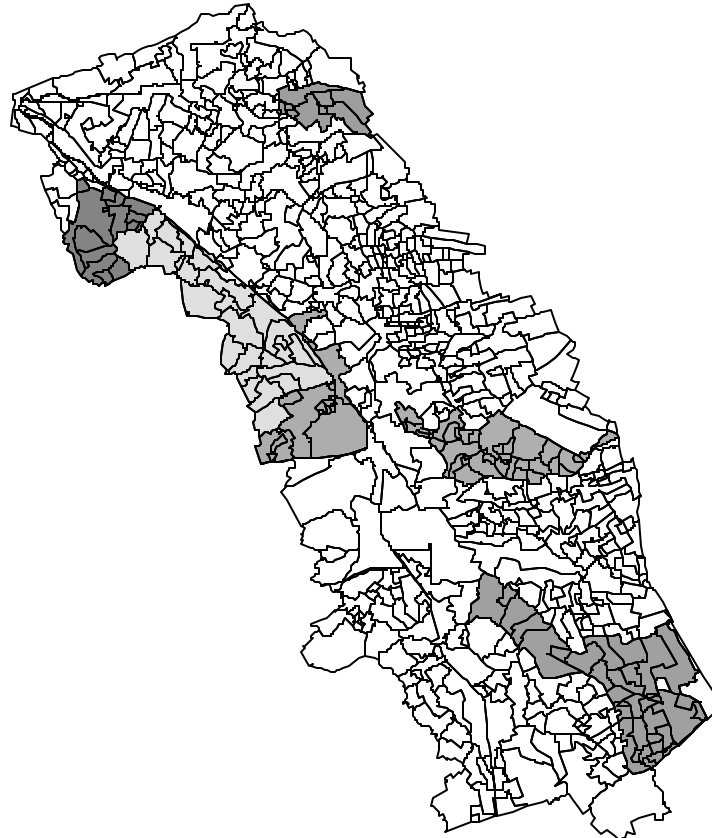
Nadat de specifieke afvoer berekend is, kan de maatgevende afvoer voor elk stroomgebied bepaald worden. De maatgevende afvoer bestaat uit een accumulatie⁷ van de berekende specifieke afvoer per substroomgebied. Bij grote stroomgebieden

⁷ optelling, rekening houdend met de oppervlakte van elk substroomgebied

kan een reductiefactor voor de maatgevende afvoer noodzakelijk zijn als gevolg van looptijdverschillen van gebiedsafvoeren.

3.8 Validatie

Voor het valideren van de modelberekeningen zijn de berekende afvoeren vergeleken met gemeten afvoerreeksen. De validatie is uitgevoerd voor negen deelstroomgebieden in het beheersgebied van Waterschap de Aa (Figuur 18).



Figuur 18 Deelstroomgebieden die gebruikt zijn voor de validatie

Bij het selecteren van de meetreeksen is gezocht naar meetpunten met een meetperiode van minimaal 10 jaar waarvoor dagafvoeren beschikbaar zijn. Per meetpunt is een uitgebreide analyse uitgevoerd (bijlage 6). De tijdreeksen zijn gebruikt voor de bepaling van afvoerduurlijnen. Hierbij is gebruik gemaakt van een meetreeks van 10 jaar (1990-1999). Bij de nadere analyse van de meetpunten bleken drie meetlocaties niet geschikt te zijn voor de analyse. De meetpunten bleken niet geschikt te zijn door veranderingen in het stroomgebied in de afgelopen 10 jaar (1 meetpunt) of doordat een meetpunt bij hogere afvoeren frequent verdronken was (2 meetpunten). Dergelijke meetpunten zijn bij de verdere analyse niet meegenomen. In de tabellen (bijlage 6) zijn de overschrijdingsfrequenties weergegeven van 1, 1.5, 2, 15, 100, 300 dagen per jaar. De overschrijdingsfrequenties van 1, 1.5 en 2 dagen

geven een indicatie van de gevoeligheid van de maatgevende afvoer, welke 1 a 2 dagen per jaar voorkomt. De overschrijdingsfrequentie van 15 dagen komt ongeveer overeen met de halve maatgevende afvoer welke 10 tot 20 dagen per jaar voorkomt. Om de rekenresultaten te kunnen vergelijken met de meetgegevens is de gesimuleerde afvoer voor 3 verschillende herhalingstijden bepaald n.l. 1, 15 en 100 dagen per jaar. Bij de bepaling is gebruik gemaakt van de geactualiseerde GHG (driehoekje in de figuren) en de GHG kaart van Kleijer (vierkantje in de figuren). Voor de gebruikte methodiek is de GHG waarmee gerekend wordt, gezien de metamodellen, zeer belangrijk. De berekende kennistabellen van de specifieke afvoer zijn wel onafhankelijk van Gt-kaart. Daarom is er voor gekozen om de berekeningen ook uit te voeren voor de GHG kartering van Kleijer (Kleijer, 1992, 1993). Deze kartering betreft de Waterschappen De Dommel en De Aa. De GHG is daar voor alle landbouwgronden perceelsgewijs in het veld geschat in een van de klassen 0-40, 40-80 en >80 cm. In Tabel 6 zijn de resultaten voor de maatgevende afvoer weergegeven. De berekende maatgevende afvoer blijkt goed overeen te komen met de maatgevende afvoer uit de tijdreeks. Bij het meetpunt in de Astense Aa wordt de maatgevende afvoer echter overschat. De overschatting van de afvoer voor dit meetpunt wordt waarschijnlijk veroorzaakt door twee aspecten. Bovenstrooms van het meetpunt meandert de Astense Aa. De meandering heeft waarschijnlijk een opstuwing tot gevolg, waardoor de afvoer wordt gestremd. In de modelberekeningen is opstuwing als gevolg van een geringe afwateringscapaciteit niet meegenomen. Een tweede mogelijke verklaring voor de overschatting van de maatgevende afvoer is een overschatting van de specifieke afvoer voor het hoogveengebied.

Tabel 6 Validatie uitkomsten

Meetpunt	afwaterend oppervlak (ha)	Maatgevende Afvoer (l/s)		
		Tijdreeks	Gt-actualisatie	Kleijer
t'Woud	1743	1.10	1.01	0.99
Biezenloop	4792	0.90	0.68	0.79
Astense Aa	5101	0.63	0.81	0.95
Snelleloop	2580	0.44	0.46	0.48
Goorloop	2198	0.89	0.81	0.86
Molenhoeve	1055	0.32	0.30	0.37

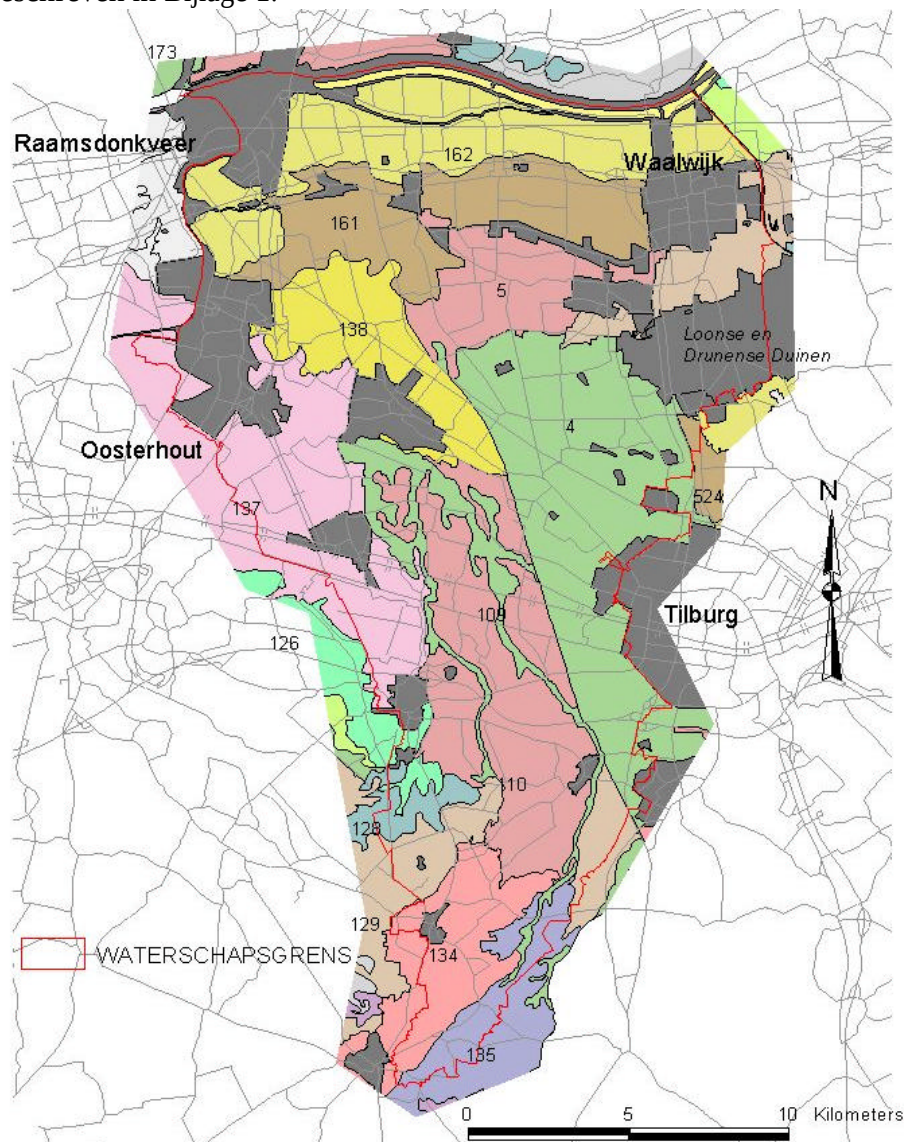
Naast de maatgevende afvoer is ook de afvoer met een herhalingstijd van 15 en 100 dagen per jaar vergeleken met de tijdreeksgegevens van de afvoerm Meetpunten. Ook deze afvoeren blijken goed overeen te komen met de meetgegevens.

4 Resultaten

4.1 Gebiedsindeling

Binnen het beheersgebied van Waterschap De Dongestroom zijn 4 geohydrologische hoofdeenheden onderscheiden: De Centrale Slenk, de zone met de formatie van Kedichem aan/nabij het oppervlak, de zone met de formatie van Sterksel aan/nabij het oppervlak en de (overgang naar het) zeeleigebied.

De gebiedsindeling heeft geleid tot 20 deelgebieden die geheel of gedeeltelijk binnen het gebied van Waterschap De Dongestroom liggen (Figuur 19). De strata worden kort beschreven in Bijlage 1.



Figuur 19 Deelgebieden van Waterschap De Dongestroom

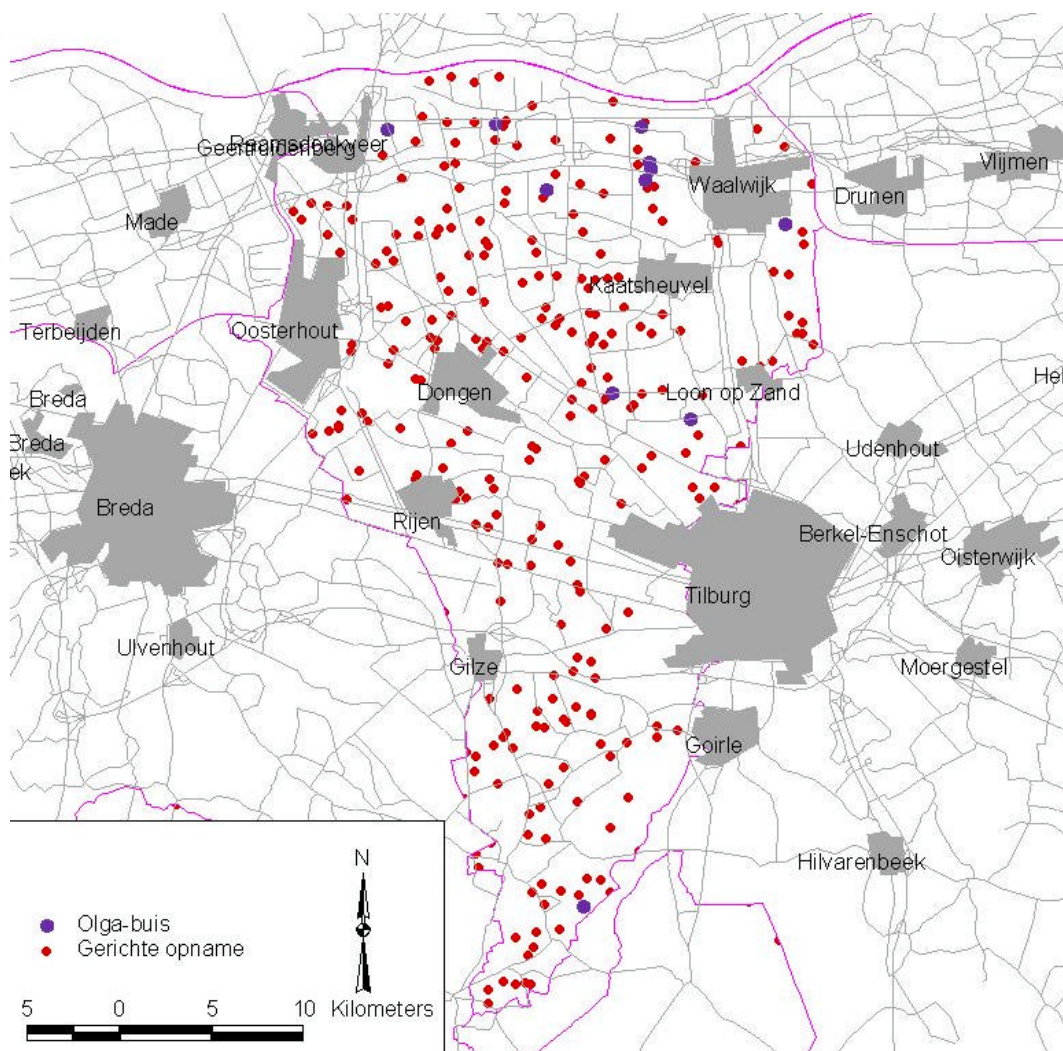
4.2 Puntgegevens

In het gebied van Waterschap De Dongestroom zijn op 276 locaties de GHG, GVG en GLG bepaald (Figuur 20). Gegeven de oppervlakte van het Waterschap (ca 29 000 hectare excl. bebouwing) zijn dat 1 GxG per 110 hectare. Daarnaast liggen 14 waarnemingen binnen het herinrichtingsgebied De Leijen binnen het Waterschap. In Tabel 7 staat de herkomst van deze GxG aangegeven. De regressiemodellen die zijn gebruikt om dagstanden om te zetten naar GxG zijn gegeven in Bijlage 2 (Tabel 15).

Tabel 7 Aantallen actualisatiegegevens op puntlocaties binnen Waterschap De Dongestroom

Herkomst	Aantal locaties	Omzettingmethode naar GxG	Verwijzing
Peilbuizen	11	Tijdreeksanalyse en berekening van GxG	§2.3.1 en §2.4
Peilbuizen gebruikt als gerichte opnames	251	Tijdreeksanalyse leidt niet tot goed model, daarom dagmetingen omgezet naar GxG	§2.3.1 en §2.5.1
Gerichte opnames (2001)		Grondwaterstandmeting omgezet naar GxG	§2.3.3 en §2.5.1
Totaal	276		
Omzetting puntgegevens detailkartering De Leijen	14	GHG- en GLG-veldschattingen gecorrigeerd voor systematische fouten door verband te leggen met gerichte opnames	Finke et al., 2001

Op 11 locaties binnen het Waterschap zijn tijdreeksmodellen succesvol gekalibreerd. Deze modellen worden beschreven in Bijlage 2 (Tabel 14).



Figuur 20 Locaties waar GxG zijn bepaald uit gerichte opnamen of tijdreeksanalyse op OLGA-buizen.

4.3 Kartering

4.3.1 GHG, GVG, GLG en Gt

Gebruikmakend van de puntgegevens (§3.2), de deelgebiedenindeling (§3.1) en de hulpinformatie (§2.5.2) zijn voor elk van de kenmerken GHG, GVG en GLG per stratum regressierelaties bepaald waarmee deze kenmerken zijn gekarteerd. Dit is stap 1 (beschreven in §2.6.1). De regressierelaties zijn gegeven in Bijlage 3 (

Tabel 16). Daarna zijn per kenmerk per stratum de verschillen tussen meting en voorspelling in kaart gebracht (stap 2 in §2.6.1) en bij de regressievoorspelling opgeteld. Het hierbij gebruikte variogram is eveneens gegeven in Bijlage 3. De kaarten en bestanden van GHG, GVG, GLG en Gt zijn apart opgeleverd.

4.3.2 Kwaliteitsmaten voor GHG, GVG en GLG

Bij het bestand van de GHG hoort een bestand van de standaardafwijking van de voorspelfout (sd) van de GHG (zo ook bij GVG en GLG). Voor de berekeningswijze zie §2.6.1. Deze bestanden geven per pixel een indicatie (in centimeter) van de onzekerheid van de GxG. De onzekerheid is het gevolg van het op niet-bezochte locaties schatten van een waarde van de GxG met behulp van gegevens van wisselende kwaliteit. Met behulp van deze onzekerheidsmaat kunnen indien gewenst betrouwbaarheidsintervallen rondom de pixel-GHG worden geconstrueerd. Resultaten voor GxG staan in Tabel 8. Bij deze tabel geldt als kanttekening dat grotere onzekerheid in het algemeen samengaat met de diepere GxG.

Tabel 8 Kwaliteit van de GxG-bestanden. Aangegeven is het oppervlaktepercentage waarvoor de onzekerheidsklasse geldt.

Parameter	Zeër lage onzekerheid (sd 0-20 cm)	Normale onzekerheid (sd 20-40 cm)	Vrij grote onzekerheid (sd 40-60 cm)	Grote onzekerheid (sd >60 cm)
GHG	24%	56%	10%	10%
GVG	12%	72%	9%	7%
GLG	5%	47%	40%	8%

Alhoewel er geen kwantitatief onderzoek is verricht naar de relatieve bijdragen van diverse bronnen van onzekerheid, kan hiervan wel een schatting worden gegeven (Tabel 9).

De belangrijkste verbetermogelijkheden van de kwaliteit van de GxG-kaarten zijn:

1. een verhoging van de waarnemingsdichtheid van bruikbare peilbuizen;
2. het verhoging van de waarnemingsdichtheid van incidentele veldopnamen (gerichte opnamen);
3. het karteren van betere hulpinformatie zoals bijvoorbeeld de ligging en diepte van drains;
4. het verbeteren van de kwaliteit van het AHN.

Tabel 9 Foutenbronnen bij kartering GxG en verbetermogelijkheden

Foutenbron	Geschatte bijdrage aan totale fout (%)	Verbetermogelijkheden
Schatting GxG in peilbuizen	5	- weinig (omdat extra hulpinformatie voor de gehele klimaatperiode beschikbaar moet zijn)
Vertaling dagstand naar GxG (gerichte opname)	35	- vertaalslag uitvoeren voor kleinere deelgebieden; hiervoor is hogere dichtheid OLGA-peilbuizen noodzakelijk
(onnauwkeurige) stratificatie	20	- inbrengen van detail-bodemkarteringen - meer peilvakinformatie (vernattingsprojecten) - informatie over ondergrondse drainagemiddelen.
Vertaling maaiveld- en topografische karakteristieken naar GxG	40	- kleinere strata (en dus hogere waarnemingsdichtheden) - toevoegen andere hulpinformatie - verhoging kwaliteit AHN
Totaal GxG	100	

4.3.3 Duurlijnen, regimecurves en kwel-/infiltratieklassen

Gebruikmakend van de tijdreeksenkenmerken (§2.4) die zijn bepaald in de peilbuizen en de hulpinformatie (§2.5.2) zijn per geohydrologische hoofdeenheid regressierelaties bepaald. Voor de 14^e en 28^e van elke maand zijn relaties geschat die de verwachte, de 5% en de 95% percentielwaarden van de grondwaterstand voorspellen met behulp van GxG (de regimecurve). Tevens zijn er relaties geschat die het gemiddelde en de standaardafwijking van de verdeling van grondwaterstanden over het jaar voorspellen met behulp van de GxG (de duurlijn). Tenslotte is er een relatie geschat die de kwelsterkte schat uit GxG en drooglegging. De regressierelaties zijn gegeven in Bijlage 3. GIS-bestanden waarmee deze kenmerken kunnen worden gepresenteerd zijn apart opgeleverd.

Ook de duurlijnen, regimecurves en kwelklassen zijn niet vrij van onzekerheid. Deze is niet kwantificeerbaar. Tabel 10 geeft de foutenbronnen aan, hun relatieve belang en verbetermogelijkheden

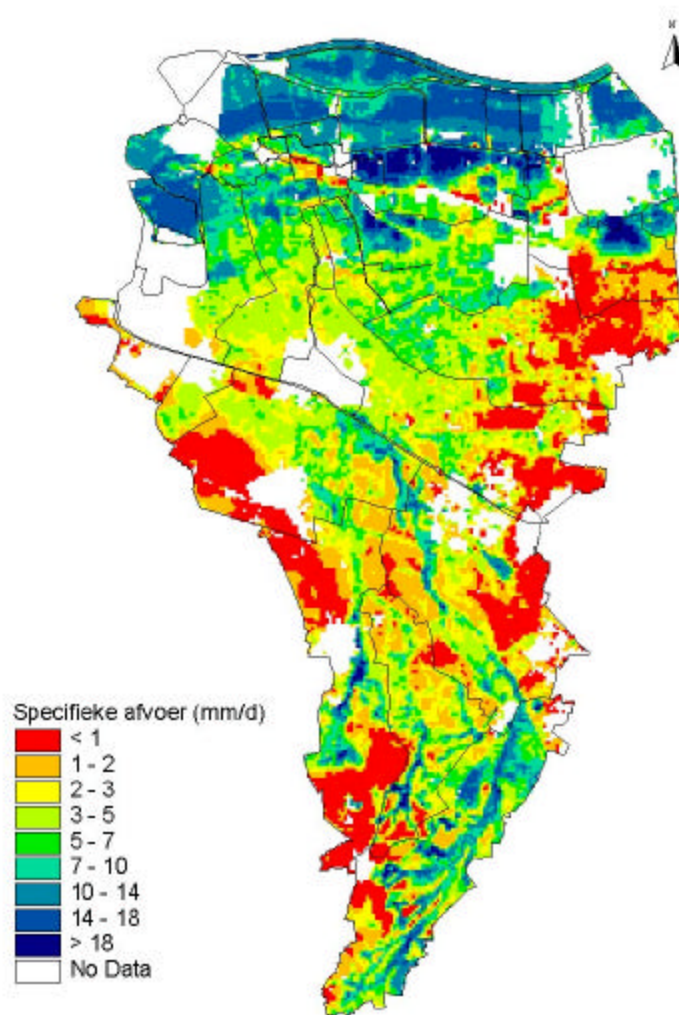
Tabel 10 Foutenbronnen bij kartering duurlijnen, regimecurves en kwelklassen en verbetermogelijkheden

Foutenbron	Geschatte bijdrage aan totale fout (%)	Verbetermogelijkheden
Schatting punten regimecurve en duurlijn met GxG op peilbuislokaties	5	- weinig (omdat extra hulpinformatie voor de gehele klimaatperiode beschikbaar moet zijn)
Schatting punten regimecurve en duurlijn met GxG op AHN-lokaties	95	- alles waarmee de GxG-schatting zelf kan worden verbeterd (zie boven)
<i>Totaal regimecurves/duurlijn</i>	<i>100</i>	
Schatting kwel/wegzijgingsflux op peilbuislokaties	30	- betere schatting lokale drooglegging
Schatting kwel/wegzijgingsflux op AHN-lokaties	70	- alles waarmee de GxG-schatting zelf kan worden verbeterd (zie boven) - betere schatting lokale drooglegging door kennis van waterstanden in secundaire/tertiaire drainagemiddelen ten tijde van de gerichte opnames
<i>Totaal kwel/wegzijgingsflux</i>	<i>100</i>	

4.4 Maatgevende afvoer

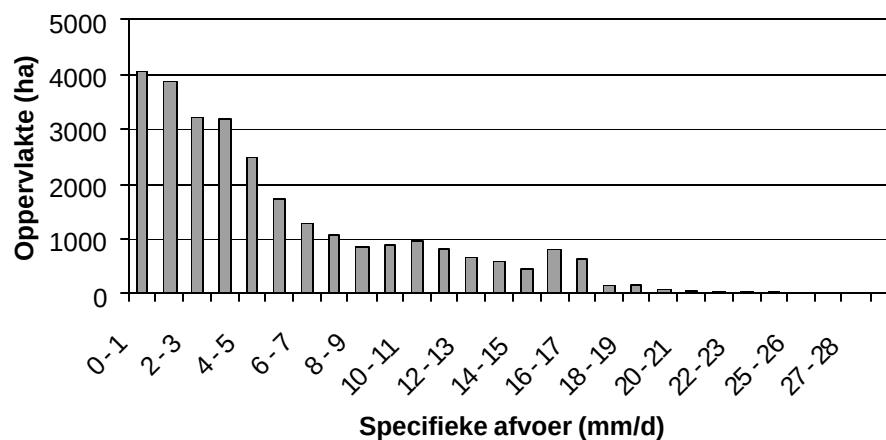
Op basis van de GHG-kaart is een kaart voor de specifieke afvoer vervaardigd. Om de specifieke afvoer te bepalen is gebruik gemaakt van metamodellen (§3.6). De specifieke afvoer is afzonderlijk bepaald voor de situatie met en zonder de aanwezigheid van buisdrainage. Voor het bepalen van de ligging buisdrainage is gebruik gemaakt van de drainagekaart afkomstig van Massop 2001. Combinatie van beide kaarten op basis van de ligging van buisdrainage levert de kaart met specifieke afvoeren. In Figuur 21 is de kaart

met de specifieke afvoer met een overschrijdingsfrequentie van 1 maal per jaar weergegeven.



Figuur 21 Specifieke afvoer met een overschrijdingsfrequentie van 1 maal per jaar

Het beheersgebied van waterschap De Dongestroom wordt gekenmerkt door een grote verscheidenheid in de specifieke afvoer. De hogere afvoeren komen vooral voor in het noordelijk gelegen kleigebied en de relatief laag gelegen beekdalen met kwel. De lage afvoeren komen voor op de relatief hoog gelegen droge zandgronden. In Figuur 22 is de verdeling van de specifieke afvoer per klasse van 1 mm/dag weergegeven.



Figuur 22 Verdeling van de specifieke afvoer met een overschrijdingsfrequentie van 1 maal per jaar

Ook uit deze verdeling komt naar voren dat de specifieke afvoer in het gebied sterk varieert. De geringere afvoeren hebben echter verreweg het grootste aandeel. Extreem hoge afvoeren worden veroorzaakt door gebieden met een GHG in of nabij maaiveld en door plekken waar drainage voorkomt in combinatie met een relatief hoge GHG. Het areaal met hoge afvoeren is echter zeer gering. De kaart met maatgevende afvoeren en de digitale bestanden zijn apart opgeleverd.

5 Discussie

5.1 Mate van verandering van de grondwatersituatie

Uit een vergelijking van de oude 1 : 50 000 Gt-kaart en de geactualiseerde Gt-kaart kan een indicatie van de mate van verandering in grondwaterstanden worden afgeleid. Hierbij wordt (onterecht) verondersteld dat de 1 : 50 000 Gt-kaart (opnamedatum afhankelijk van het kaartblad tussen 1981 en 1984) net als de geactualiseerde kaart klimaatsrepresentatief is. Deze vergelijking wordt gemaakt op 2 manieren:

1. In kaart brengen van een indicator die aangeeft hoeveel klassen de Gt is veranderd;
2. In kaart brengen van de verschuiving van de GHG en GLG in centimeters.

Ad 1: Indicator van de mate van Gt-verandering

De indicator wordt per kaartvlak van de oude 1 : 50 000 Gt-kaart uitgerekend met behulp van de volgende rekenregel:

$$I = \begin{cases} -3 * n_{>2 \text{ klassen natter}} / N - 2 * n_{2 \text{ klassen natter}} / N - 1 * n_{1 \text{ klasse natter}} / N & (\text{vernat}) \\ + 0 * n_{\text{gelijk gebleven}} / N \\ + 3 * n_{>2 \text{ klassen droger}} / N + 2 * n_{2 \text{ klassen droger}} / N + 1 * n_{1 \text{ klasse droger}} / N & (\text{verdroogd}) \end{cases}$$

Waarbij $n_{1 \text{ klasse droger}}$ is het aantal gridcellen binnen een kaartvlak waar de Gt 1 klasse droger is geworden en N is het totaal aantal gridcellen in een kaartvlak. Deze indicator kan variëren tussen -3 (kaartvlak is gemiddeld meer dan 2 Gt-klassen vernat) en +3 (kaartvlak is gemiddeld meer dan 2 Gt-klassen verdroogd). Een waarde tussen de -0,3 en +0,3 duidt op geringe veranderingen. Resultaten zijn weergegeven in Figuur 23 (boven).

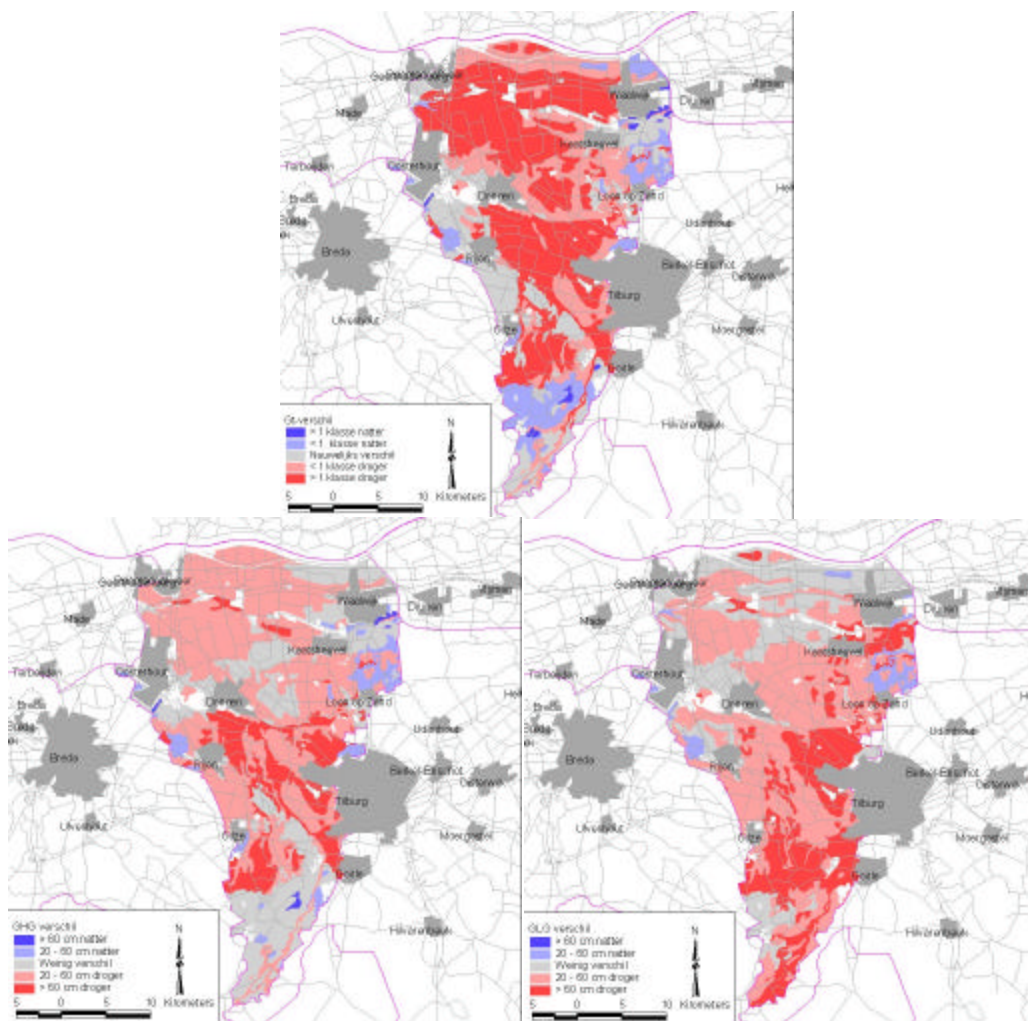
Ad 2: Verschuiving van de GHG en GLG

Het aantal klassen verandering van de Gt kan misleidende informatie geven over de mate van verdroging. Bijvoorbeeld: als de GHG verschuift van 39 naar 41 centimeter en de GLG van 119 naar 121 centimeter dan verandert de Gt van III naar VI (3 klassen verschil). De feitelijke veranderingen zijn in dit geval klein maar de indicator wijst toch op sterke verdroging.

De verschuiving V_{GHG} wordt (net zoals de V_{GLG} berekend als het verschil tussen de GHG op de oude en op de nieuwe Gt-kaart:

$$V_{GHG} = GHG_{\text{nieuw}} - GHG_{\text{oud}}$$

waarbij GHG_{oud} (in cm) wordt bepaald uit de Gt in oude Gt-kaart 1 : 50 000, gebruikmakend van de geschatte GHG per Gt door Van der Sluijs (1982, 1990; vermeld in Tabel 2). De verschuiving van de GLG wordt op analoge wijze berekend. Evenals bij de Gt-verschuivingsindicator worden de gemiddelde verschuivingen per kaartvlak van de oude 1 : 50 000 Gt-kaart uitgerekend. Resultaten zijn weergegeven in Figuur 23 (linksonder en rechtsonder).



Figuur 23 Verschil in aantal Gt-classes (boven), in centimeters GHG (linksonder) en in centimeters GLG (rechtsonder) tussen de oude en de geactualiseerde Gt-kaart. Verschil is uitgerekend per 1 : 50 000 kaartvlak

Uit Figuur 23 blijkt dat in delen van het Waterschap sprake is van vernatting, en in andere delen van verdroging ten opzichte van de oude Gt-kaarten. Op basis van verandering in Gt kan in 11% van het oppervlak gesproken worden van vernatting en in 74% van verdroging. In 15% van het oppervlak zijn de Gt-veranderingen nihil. In het peilbeheerste gebied ten noorden van de lijn Oosterhout-Kaatsheuvel lijken de Gt-veranderingen fors; deze gaan echter niet samen met grote GHG en/of GLG-veranderingen. Kleine dalingen van GHG en GLG zorgen er hiervoor dat de klassengrens van Gt VI en Gt VII wordt gepasseerd waar de Gt eerder nog op IV respectievelijk VI werd geschat.

Ten zuiden van de lijn Dongen-Tilburg lijken sterke Gt-veranderingen wel samen te gaan met sterke GHG- en/of GLG-veranderingen. Echter, in een groot deel van dit gebied zijn Gt VI veranderd naar VII en Gt V naar VI. De schatting van de GLG op basis van de oude Gt-kaart is hier onzeker, omdat de definitie van de GLG “dieper dan 120 cm” is en er geen gemeten GLG uit deze periode zijn naast de ruwe schatting uit Van der Sluijs (1990). Deze onzekerheid in de oude GLG leidt mogelijk tot een overdreven beeld van de verdroging van de GLG. Ditzelfde geldt voor de

GHG verschuiving bij de verandering Gt VII naar Gt VIII (GHG “dieper dan 80 cm”) ten zuiden van Gilze en ten westen van Tilburg.

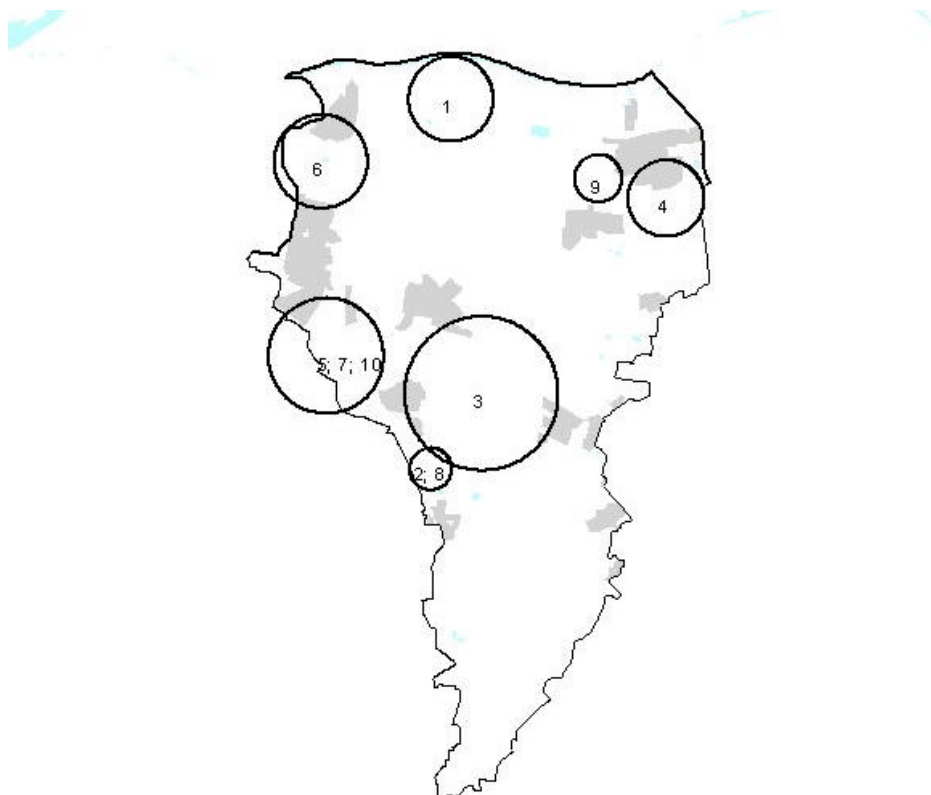
5.2 Reactie van het Waterschap op de kaarten

Het Waterschap heeft conceptkaarten ingezien en daarop gereageerd. Alterra heeft op basis van dit commentaar naar achterliggende oorzaken gezocht en geanalyseerd of op basis van de beschikbare gegevens en de gehanteerde methodiek aanpassing van de kaarten mogelijk zou zijn zonder naar een resultaat toe te werken. De aldus bijgestelde kaarten zijn aan het Waterschap uitgeleverd. Alle discussiepunten die betrekking hebben op de conceptkaarten zijn gegeven in Tabel 11 en Figuur 24.

Tabel 11 Resterende discussiepunten na bijstellen van conceptkaarten

Nr.	Gebied	Twijfelpunt Waterschap	Verklaring	Oplossing(-en)	veranderingen aangebracht
1.	het noordelijk/ bemalen gebied	De GLG is in het noordelijk/ bemalen gebied veel te diep >180, tevens is de voorspelfout hier gering, dit kan echt niet.	GLG op punten is ook droog (>180), maar gemeten standen >135. Mogelijk overcorrectie bij stambuisregressie omdat hierbij ook buizen uit zuidelijker gebiedsdelen zijn gebruikt	Alterra doet tijdreeksanalyse en checked of GLG hier te droog op de kaart staat. Zo ja, dan moet nog een vervolgaanpak worden vastgesteld om GLG "omhoog te krijgen". Zo nee dan zijn er geen aanwijzingen voor "te droog".	gemiddeld verschil GLG-buis/ GLG-kaart gebruikt om de GLG 37 cm omhoog te brengen.
2.	Rond de vliegbasis Gilze	Rond de vliegbasis Gilze is GLG erg nat, niet verklaarbaar	Extrapolatie regressievergelijking.	Alterra versoepelt extrapolatiecriterium en checked of dit drogere situatie oplevert	extrapolatie. verbeterd.
3.	Beekdalen	Beekdalen, zijn per definitie te droog (GLG), ondanks een geringe voorspelfout	In stratum 109 en 136. punt-GLG 140-160, metingen 13-9-2001 100-120. Mogelijk overcorrectie	Zie oplossing bij 1. Waarnemingen bijplaatsen zou duidelijkheid verschaffen.	geen systematische verandering aangebracht. wel lokaal aangepast (extrapolatie)
4.	tussen tilburg en kaatsheuvel	Stratum tussen tilburg en kaatsheuvel heeft een wel erg grote voorspelfout	Hangt hier samen met diepe standen.	-	-
5.	Gebied tussen oosterhout en reijen	GLG veel te droog.	Niet te reconstrueren. Waarnemingen zijn ook erg droog	-	-
6.	Polder tussen oosterhout en geertruidenb erg	GLG is veel te droog	Zelfde verklaring als bij 1. Peilenkaart is wel ontvangen maar binnen Alterra niet doorgegeven.	Zie oplossing bij 1.	gemiddeld verschil GLG-buis/ GLG-kaart gebruikt om de GLG 37 cm omhoog te brengen.
7.	tussen donge en reijen	GLG veel te droog	hetzelfde als bij 3 en 1	Zie oplossing bij 1	-
8.	Rond de vliegbasis Gilze	is GHG erg nat, niet verklaarbaar.	Extrapolatie regressievergelijking.	Alterra versoepelt extrapolatiecriterium en checked of dit drogere situatie oplevert	extrapolatie. verbeterd.
9.	Het gebied ten zuiden van waalwijk	is GHG veel te nat	2 gebiedjes. ten Z. van Waalwijk: extrapolatie, maar vanuit natte omgeving. Versoepeling extrapolatiecrit. zal	extra waarnemingen zou helpen.	verbeterd.

Nr.	Gebied	Twijfelpunt Waterschap	Verklaring	Oplossing(-en)	veranderingen aangebracht
			mogelijk niet helpen ten W van Waalwijk. Veel stedelijk gebied, vrij ver van waarnemingen af		
10.	Gebied tussen oosterhout en reijen	GHG veel te droog	Niet te reconstrueren. Waarnemingen zijn ook erg droog	-	-



Figuur 24 Discussiepunten op basis van de conceptkaarten (circels).

5.3 Opties om de kwaliteit van de GxG-kaarten te verbeteren

De kwaliteit van de GxG-kaarten is gedocumenteerd met aparte (digitale) kaarten waarop de standaardafwijking van de voorspelfout is aangegeven. In paragraaf 4.3.2 is samengevat welke kwaliteit is bereikt met de kartering. In hoofdstuk 6 wordt beschreven hoe deze kennis over de kwaliteit van GxG-kaarten kan worden gebruikt bij de interpretatie van GxG-kaarten. Daarnaast kan worden ingezet op verbetering van de kwaliteit van deze kaarten. In paragraaf 4.3.2 zijn al de belangrijkste mogelijkheden aangegeven om de kwaliteit van de GxG-kaarten te verbeteren:

1. een verhoging van de waarnemingsdichtheid van bruikbare peilbuizen;
2. het verhoging van de waarnemingsdichtheid van incidentele veldopnamen (gerichte opnamen);
3. het karteren van betere hulpinformatie zoals bijvoorbeeld de ligging en diepte van drains;

4. het verbeteren van de kwaliteit van het AHN.

Hieronder wordt in het kort uitgewerkt hoe deze 4 verbeteropties kunnen worden uitgevoerd, wat het investeringsniveau is en wat het vermoedelijke rendement is in termen van kaartkwaliteit.

ad 1. Verhoging waarnemingsdichtheid van bruikbare peilbuizen

Het plaatsen van een buis en deze frequent bemeten gedurende enkele jaren tot aan het moment van een (her)kartering is een nuttige investering. Ten eerste zijn de GxG-schattingen op de lokaties van de peilbuizen kwalitatief beter dan die van gerichte opnames, ten tweede kan bij de gerichte opnames gebruik worden gemaakt van een meer lokaal meetnet dan bij de huidige kartering het geval was. Een lokaal meetnet zal de response van het grondwater op de neerslag in het gebied van de gerichte opname beter weerspiegelen dan een regionaal meetnet. Daarnaast kan het effect van lokaal peilbeheer op de response van grondwater op neerslag beter worden verdisconteerd bij de vertaling van een dagstand naar een GxG. Ook kan bij vergroting van de meetnetdichtheid een betere verdeling van de peilbuizen over de Gt's worden bereikt. Hierdoor zal de kwaliteit van de gerichte opnames toenemen.

ad 2. Verhoging waarnemingsdichtheid gerichte opnames

Het verhogen van de waarnemingsdichtheid werkt op 2 manieren een kwaliteitsverbetering in de hand. Dit is te illustreren met de formulering in paragraaf 2.6.1 die de totale onzekerheid t.a.v. de gekarteerde GxG in een gridcel weergeeft: $s = \sqrt{VAR_{regpars} + VAR_{kriging}}$, dat wil zeggen: de standaardafwijking van de voorspelfout (s) is opgebouwd uit de onzekerheid in de regressieparameters van het model waarmee maaiveldeigenschappen worden omgezet naar GxG, en de onzekerheid ten gevolge van ruimtelijke variabiliteit.

1. Ten eerste vermindert een verhoging van de waarnemingsdichtheid de onzekerheid in het schatten van de parameters van het regressiemodel waarmee via het "AHN+" de GxG wordt voorspeld. Hierdoor wordt de term $(x_0' \cdot (X' \cdot W \cdot X)^{-1} \cdot x_0)$ uit paragraaf 2.6.1 een kleiner getal, en vermindert $VAR_{regpars}$. Deze verbetering geldt voor het gehele stratum. De onzekerheid in het schatten van de regressieparameters neemt af volgens de vuistregel: een gewenste halvering van de standaardfout ten gevolge van de regressie vergt een verviervoudiging van het aantal waarnemingen.
2. Ten tweede vermindert een verhoging van de waarnemingsdichtheid de afstand van een niet-bezochte locatie ten opzichte van het dichtsbijzijnde meetpunt, waardoor bij de statistische foutcorrectie met kriging deze foutcorrectie precieser wordt; met een kleinere $VAR_{kriging}$. Hoe de onzekerheid, gekwantificeerd met de krigingvariantie, afneemt met de waarnemingsdichtheid, hangt af van het variogram en ook van de mate waarin de puntmetingen afwijken van het regressiemodel (de gemiddelde kwadratische fout MSE). Een beter resultaat dan de nuggetvariantie van

het variogram kan niet worden bereikt. De nuggetvariantie geeft een indicatie van de maximaal haalbare betrouwbaarheid, ten gevolge van onzekerheden zoals de variatie op zeer korte afstand, de kwaliteit van de gerichte opname, fouten in het AHN, meetfouten. De nuggetvariantie uitgedrukt in cm^2 zal in de meeste gevallen groter dan 100 cm^2 blijven als gerichte opnames worden gebruikt voor de kartering. Dit komt omdat gerichte opnames een voorspelfout hebben in de ordegrootte van 10 cm. Naar mate de range van het variogram groter is treedt verbetering van de betrouwbaarheid op bij een lagere waarnemingsdichtheid, en zijn de investeringen om een kleinere $VAR_{kriging}$ te bereiken dus kleiner.

In zijn algemeenheid geldt, dat de component $VAR_{kriging}$ veel groter is dan $VAR_{regpars}$ en dat de grootste kwaliteitsverbetering wordt bereikt door verbetering van de krigingschatting tijdens de foutcorrectie. Over geheel Noord-Brabant en Peel en Maasvallei gemiddeld wordt 6% van de som ($VAR_{kriging} + VAR_{regpars}$) bepaald door de onzekerheid in regressieparameters, en 84% van de som door de krigingvariantie (verhouding 1 : 15). Met deze kennis over de onzekerheid kan worden onderzocht welke waarnemingsdichtheid in een stratum of willekeurig deelgebied nodig is om aan een vooraf ingestelde kwaliteitseis (in termen van een voorspelfout) te kunnen voldoen. Als *indicatief voorbeeld* is een gebied (stratum) uitgewerkt dat een situatie weerspiegelt die sterk lijkt op die in stratum 30 (infiltratiegebied in de Centrale Slenk met lokaal lemig zand bij Son/St.Oedenrode):

- de standaardafwijking van de voorspelfout van de GHG is nu 40 cm (gemiddeld over het stratum);
- 84% van de onzekerheid bij de huidige waarnemingsdichtheid komt door kriging;
- het sferische variogram heeft nuggetvariantie=0.65; sill=0.35 en range=426 meter (dit is het variogram voor de GHG van oost-Brabant).

Dit variogram heeft een hoge nuggetvariantie, en dat beperkt de haalbare kwaliteitsverbetering (rechter deel van Figuur 25):

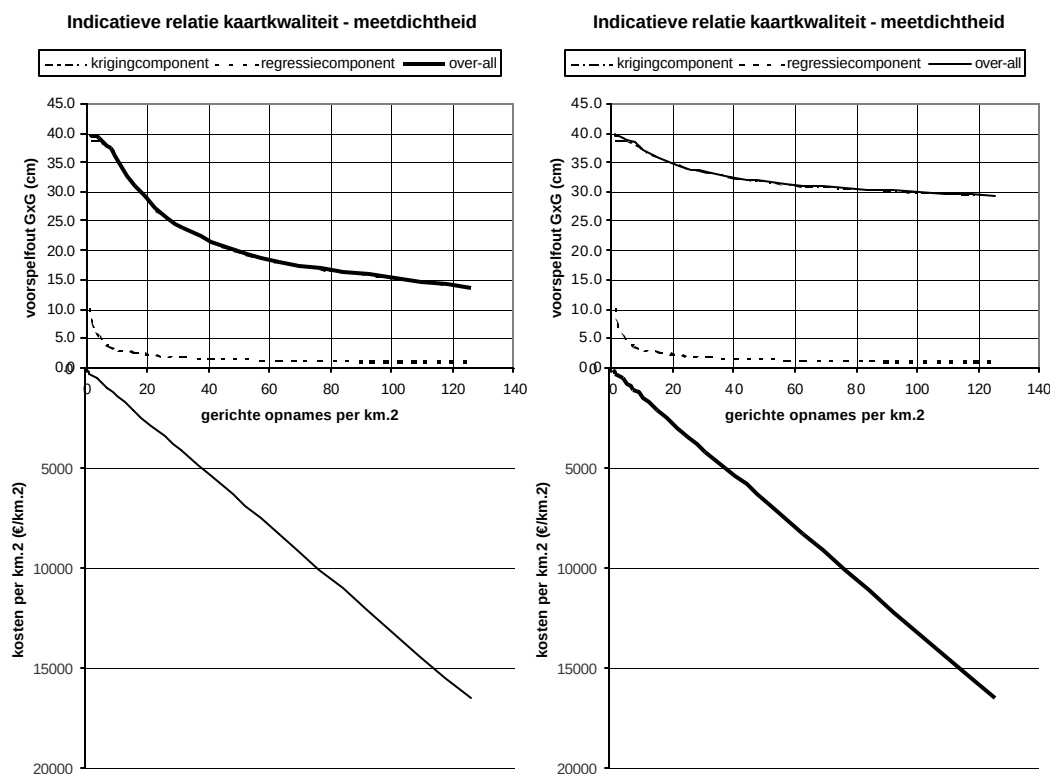
Om de voorspelfout van 40 naar 30 cm omlaag te krijgen, moet de huidige waarnemingsdichtheid van ca. $1/\text{km}^2$ omhoog naar ca. $90/\text{km}^2$ en nemen de veldwerkkosten toe van 130 Euro/ km^2 naar 12000 Euro/ km^2 . De stap van een voorspelfout van 40 naar 20 cm lijkt hier niet realiseerbaar.

Omdat het variogram in de huidige studie over een groot gebied is vastgesteld, en er relatief weinig waarnemingen zijn om de korte-afstandsvariabiliteit goed in te schatten, kan het zijn dat de nuggetvariantie te pessimistisch (te hoog) wordt ingeschat. Als we van de realistische veronderstelling uitgaan, dat de gunstigst haalbare kwaliteit van een kaart bepaald wordt door de kwaliteit van de gerichte opname (een gunstige waarde is dan een voorspelfout van 10 cm), dan kan daaruit een andere waarde van de nuggetvariantie van het variogram worden geschat. Het effect van waarnemingsdichtheid op de kwaliteit en kosten ontwikkelt zich dan gunstiger (linker deel Figuur 25):

Om de voorspelfout van 40 naar 30 cm omlaag te krijgen, moet de huidige waarnemingsdichtheid van ca. $1/\text{km}^2$ omhoog naar ca. $17/\text{km}^2$ en nemen de veldwerkkosten toe van 130 Euro/ km^2 naar 2230 Euro/ km^2 . De stap van een voorspelfout van 40 naar 20 cm is dan wel realiseerbaar; de waarnemingsdichtheid moet dan omhoog naar ca. $50/\text{km}^2$ en de veldwerkkosten komen op ca. 6600 Euro/ km^2 .

Uit deze analyse kan het volgende worden geconcludeerd:

- Het voorspellen van de kwaliteit van een GxG-kaart bij hogere waarnemingsdichtheden is technisch mogelijk, maar de daaruit te trekken conclusies blijken sterk afhankelijk van de nuggetvariantie. Het wordt daarom aanbevolen een dergelijke analyse uit te voeren met lokaal bepaalde variogrammen (bijvoorbeeld voor een groep vergelijkbare strata die geografisch op elkaar aansluiten). Deze analyse kan met de bestaande gegevens worden uitgevoerd.
- De kosten van kwaliteitsverbetering tot een uniform niveau van de standaardafwijking van de voorspelfout kunnen hoog oplopen, omdat de voorspelbaarheid van de GxG per stratum sterk varieert. Aanbevolen wordt daarom, gebiedsspecifieke (strata-specifieke) kwaliteitscriteria te formuleren en de realiseerbaarheid en de kosten hiervan te analyseren en niet één uniforme kwaliteitseis te stellen.
- Gerichte opnames kosten meer dan in het veld geschatte GxG. Voor een GHG en GLG-opname samen moet een lokatie 4* worden bezocht, bij het maken van een veldschatting 1*. De waarnemingen bij een aanvullend veldwerk zouden dan uit veldschattingen kunnen bestaan, waarbij deze veldschattingen achteraf voor systematische afwijkingen worden gecorrigeerd. Hiervoor moet op een deel van die waarnemingen wel een gerichte opname worden uitgevoerd, maar niet op alle. Hiermee kan tussen de 60 en 75% op de veldwerkkosten, zoals in onderstaande figuur weergegeven, worden bespaard. Nadeel is wel, dat de GxG op punten met (gecorrigeerde) veldschattingen onnauwkeuriger zijn dan GxG uit een gerichte opname.



Figuur 25 Voorbeeld van de kaartkwaliteit (standaardafwijking voorspelfout) als functie van waarnemingsdichtheid met effect op kosten van gerichte opnames. De rechter figuur is gebaseerd op het voor oostelijk Brabant bepaalde variogram, de linker figuur op een variogram waarbij de nuggetvariantie is gecorrigeerd tot een plausibele minimumwaarde.

ad 3. Betere hulpinformatie

Potentiële winst is te behalen bij het toevoegen van hulpvariabelen die informatie bevatten over de grondwatersituatie en bij het verbeteren van de kwaliteit van de huidige hulpvariabelen. Hoe groot deze winst is, valt vóóraf niet te zeggen; er is dus geen succesgarantie. Voorbeelden van verbeteringen in de hulpinformatie zijn:

- de vlakdekkend in beeld gebrachte aanwezigheid van ondergrondse drainage, diepte van de drains en drainafstand (gebaseerd op een veld-beoordeling). De aanwezigheid van ondergrondse drainage is in dit project uit een ruimtelijke vertaalfunctie afgeleid, deze is voor verbetering vatbaar.
- een vlakdekkende karakterisatie van het zomer- en winterpeil (waarin aaneengesloten gebieden zijn aangegeven waarin het grondwaterstandsdiepte wordt geacht te worden bepaald door het aangegeven winter- en/of zomerpeil).
- grondwaterverlagingslijnen rondom onttrekkingsstations.

ad 4. Betere kwaliteit van het AHN

Het AHN zoals dat nu is gebruikt is niet foutloos. De fout bestaat voor een deel uit ruis (een combinatie van meetfouten en variabiliteit binnen de 25x25 meter cel) en voor een deel uit systematische fouten. De systematische fouten hangen deels samen met het landgebruik (bijvoorbeeld vegetatielagen in natuurgebieden kunnen tot

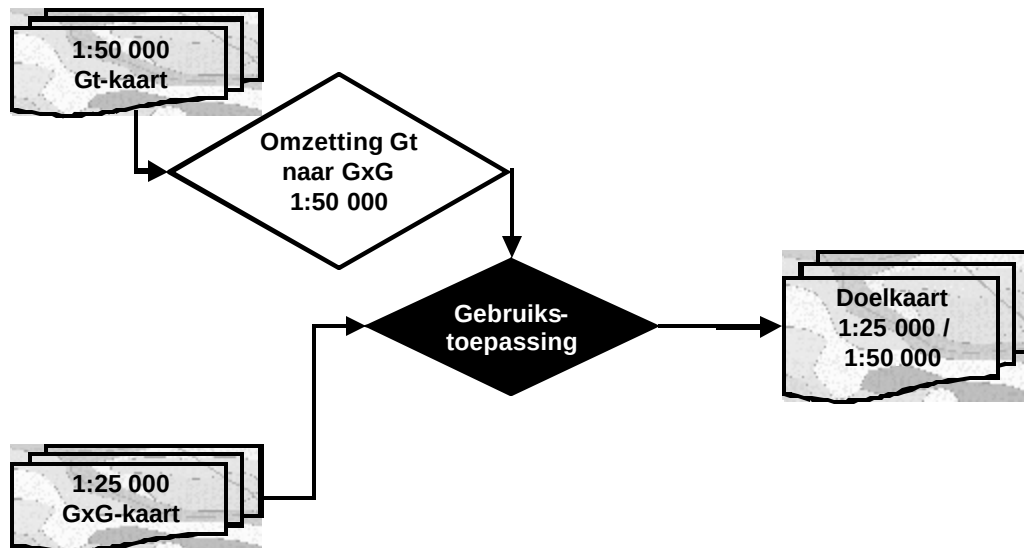
systematische fouten leiden). Fouten in het AHN worden lineair doorgegeven aan alle van het AHN afgeleide hulpinformatie. Gevolgen van dit deze fouten zijn:

- door de ruis wordt het lastiger goede statistische modellen te selecteren, daarnaast neemt de verklaarde variantie van het gefitte model af en neemt de restvariantie van het regressiemodel toe. Dit effect wordt bij zeer hoge waarnemingsdichtheden minder belangrijk.
- een deel van de peilbuisinformatie wordt onbruikbaar. Als de stijghoogtes zijn aangegeven ten opzichte van NAP en dit moet worden omgezet naar maaiveld met behulp van het AHN, dan wordt de lokale fout in het AHN overgebracht naar de stijghoogtetijdreeks. In deze studie heeft dat tot afvallen van een deel van de lokale meetnetinformatie geleid.
- informatie over streefpeilen en rivierpeilen wordt onbetrouwbaar omgezet in hulpinformatie. Dit soort informatie is vaak ten opzichte van NAP, bij omzetting naar "ten opzichte van maaiveld" worden fouten in het AHN overgebracht op deze gegevens.

Uitwerken van opties voor de verbetering van de kwaliteit van het AHN valt buiten de scope van dit rapport en ligt binnen de competentie van de Meetkundige Dienst.

5.4 Gebruiksvoorschrift voor de GxG-kaarten

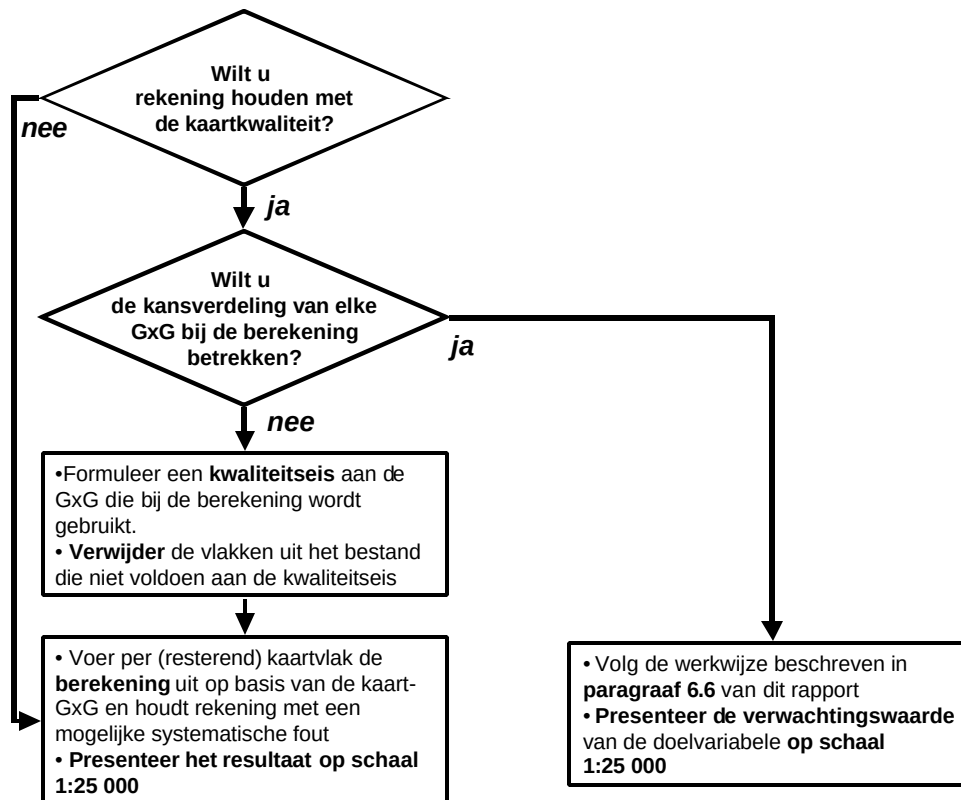
De GxG-kaarten zijn voor grote delen van Noord-Brabant en Waterschap Peel en Maasvallei in dit onderzoek voor de eerste keer gemaakt. Voorheen waren er in grote deelgebieden alleen Gt-kaarten op schaal 1 : 50 000 beschikbaar voor toepassingsstudies. Dat impliceert, dat een aantal gebruikstoepassingen nieuw zullen zijn (gebaseerd op GxG in plaats van op Gt) of dat tenminste de basale GxG-gegevens ten behoeve van die gebruikstoepassing langs een andere route zijn verkregen:



Daarnaast is de kwaliteit van de GxG-bestanden nu gedocumenteerd en was deze van oudere kaarten niet bekend.

Een advies bij het gebruik van de GxG-bestanden is, zonder een specificatie van de beoogde toepassing, alleen in algemene termen te geven. Onderstaande figuur geeft een gebruiksadvies op basis van de antwoorden op 2 vragen. Altijd van toepassing zijn de 2 volgende zaken:

1. De gebruiker is zelf verantwoordelijk
2. De GxG-bestanden worden bewust gepresenteerd op een kaartschaal 1 : 25 000, en dat zou ook moeten gelden voor kaarten die door middel van rekenregels van deze basisinformatie worden afgeleid.



Figuur 26 Gebruiksadvies GxG-bestanden op basis van de antwoorden op 2 vragen

5.5 Maatgevende afvoer

De specifieke afvoer is bepaald voor het landelijk gebied. Om de maatgevende afvoer te bepalen is de specifieke afvoer binnen een stroomgebied naar rato van het oppervlak gemiddeld. Het stedelijk gebied is bij het bepalen van de maatgevende afvoer buiten beschouwing gelaten. Bij de berekeningen is dus verondersteld dat de afvoer van het stedelijk gebied overeenkomt met het gemiddelde van het stroomgebied. In werkelijkheid zal de afvoer van stedelijk gebied met een herhalingsstijd van 1 maal per jaar veelal hoger zijn. Vooral riooloverstorten kunnen de maatgevende afvoer lokaal sterk verhogen. Ook effluent lozingen van rioolwaterzuiveringsinstallaties hebben lokaal een verhogend effect op de afvoer. Het verhogende effect van stedelijk gebied op de maatgevende afvoer is sterk afhankelijk van de inrichting van het stedelijk gebied en de locale situatie voor de afvoer van het stedelijk water.

6 Omgaan met onzekerheid in GxG-kaarten: een handleiding

6.1 Inleiding

De kaarten van GHG, GVG en GLG (kortweg GxG) die door Alterra worden gemaakt bevatten, naast een zo goed mogelijke schatting van de GxG, ook een extra kaart met daarop de betrouwbaarheid van de schatting, namelijk in de vorm van de “standaard-afwijking” van de schattingsfout. Dit hoofdstuk heeft twee doelen: 1) om uit te leggen waar de onzekerheid vandaan komt en wat nu precies bedoeld wordt met de “standaardafwijking” van de schattingsfout; 2) om te laten zien hoe in de praktijk omgegaan kan worden met de onzekerheid.

6.2 Bronnen van onzekerheid

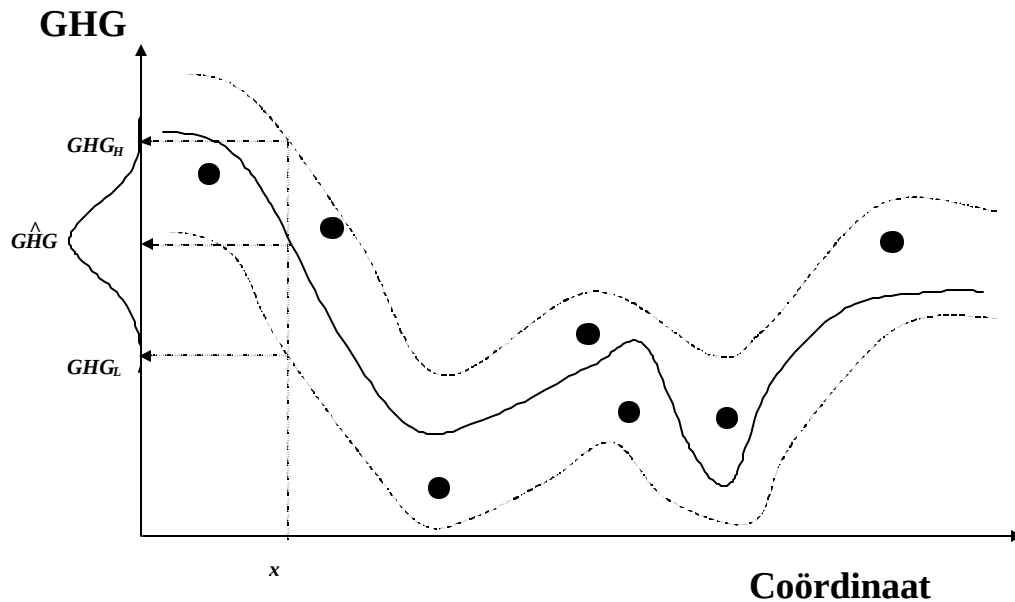
Het is niet mogelijk om *exact* te zeggen wat de grondwaterstand op een bepaalde plek op een bepaald tijdstip is. Als we de grondwaterstand meten is er altijd wel een meetfout. Als we deze voorspellen met een grondwatermodel ontstaan fouten omdat 1) de werkelijkheid niet geheel voldoet aan de onderliggende fysica van ons model (bijv. de wet van Darcy); 2) de parameters (doorlatendheid) niet overal bekend zijn; 3) randvoorwaarden niet overal bekend zijn; 4) schematiseringen en vereenvoudigingen zijn toegepast (denk aan het opdelen van het domein in veronderstelde homogene gebieden of het gebruik van een drainageweerstand ipv alle tertiaire waterlopen expliciet te modelleren). Het statistische model dat toegepast is om de GxG te voorspellen heeft de volgende foutenbronnen: 1) meetfouten en bepalingfouten van de GxG op de stambuislocaties en de locaties van de gerichte opnamen; 2) interpolatiefouten om vanuit deze locaties een ruimtelijk beeld te verkrijgen.

In het algemeen geldt dat verkleining van de schattingsfout slechts beperkt te bewerkstelligen is door het gebruiken van een ander model of een andere methode. De beste garantie om de schattingsfout te verkleinen is het verzamelen van meer informatie, i.c. het vergroten van het aantal meetlocaties van de GxG. Voor een tevoren bepaald en beperkt investeringsniveau zullen we dus moeten leren om te gaan met een, soms aanzienlijke, schattingsfout.

6.3 Definities

Om het geheel nog eens te verduidelijken is Figuur 27 toegevoegd. Deze toont schematisch waarnemingen van de bijvoorbeeld de GHG en de schattingen langs een traject. Stel nu dat de waarnemingen gedaan zijn om de schatting (de doorgetrokken lijn) te valideren. Zoals verwacht zijn er verschillen tussen waarnemingen en schattingen: het statistische model is niet foutloos. We kunnen wel een bepaalde band aangeven (de stippellijnen) waarbinnen bijvoorbeeld 95% van de waarnemingen ligt. Als we rekening houden met deze band en met ons model voor een bepaalde

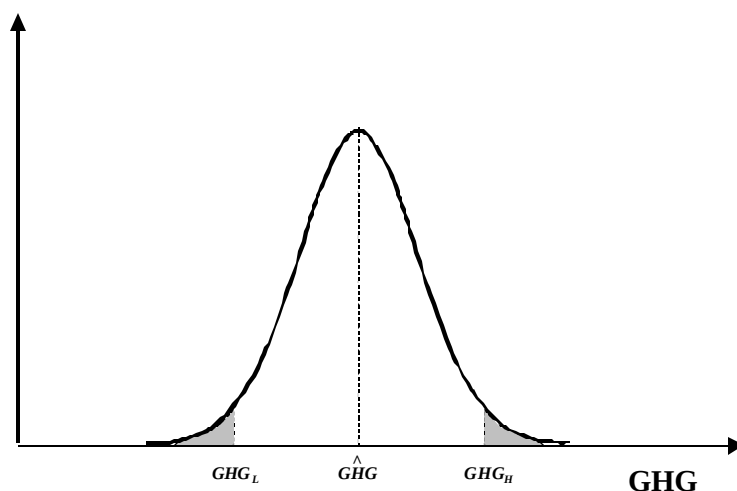
onbezochte locatie x een schatting van de GHG maken, dan zien we dat dit niet een alleen een schatting geeft ($\hat{GHG}$, de middelste dunne pijl) maar ook een band waarbinnen de onbekende waarde waarschijnlijk moet liggen (de buitenste dunne pijlen: GHG_L en GHG_H). Dit is een zogenaamd 95%-betrouwbaarheidsinterval.



Figuur 27 Een model schat de GHG met een betrouwbaarheidsband

We kunnen dan stellen dat de kans dat de werkelijke (maar onbekende) waarde van de GHG op locatie x met kans 0.95 tussen de grenzen van het betrouwbaarheidsinterval GHG_L en GHG_H ligt. Nu is het meestal niet zo dat de kans op een zekere GHG binnen het 95%-betrouwbaarheidsinterval overal gelijk is. Gemiddeld genomen zal de kans groter zijn dat deze dicht bij de geschatte waarde ligt dan aan de grenzen van het betrouwbaarheidsinterval: dus de kans op kleine fouten is groter dan de kans op grote fouten. Dit effect is te zien als we de kansverdeling van de GHG op locatie x plotten (ook al te zien langs de y -as van Figuur 27).

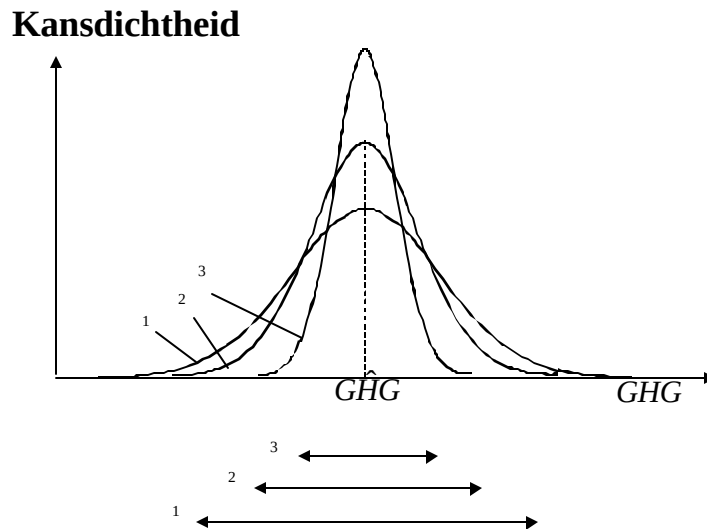
Kansdichtheid



Figuur 28 Voorbeeld van een kansverdeling voor GHG

De kansverdeling kan als volgt geïnterpreteerd worden. De onbekende waarde van GHG kan een groot aantal waarden aannemen. Echter de kans is groter dat deze een waarde heeft die dicht bij de schatting $\hat{GHG}$ ligt dan er erg ver vanaf. De kans dat de werkelijke GHG kleiner is dan GHG_L of groter dan GHG_H is dus erg klein. De gearceerde oppervlakken links en rechts van de grenzen zijn samen 5% van het oppervlak onder de curve (2 maal 2.5%). Dit geeft aan dat de kans dat de werkelijke GHG kleiner is dan GHG_L gelijk of groter is dan GHG_H gelijk is aan 5%. De werkelijke GHG zit dus met 95% tussen de grenzen GHG_L - GHG_H .

We zijn dus weliswaar onzeker over de GHG maar niet volledig onzeker: anders zou de GHG met gelijke kans elke waarde kunnen aannemen, terwijl we hier in ieder geval kunnen zeggen dat de GHG met gerede kans (95%) in het interval GHG_L - GHG_H ligt. De mate van onzekerheid wordt dus bepaald door de breedte van het 95%-betrouwbaarheidsinterval. Dat kunnen we verder illustreren met Figuur 29 waar we drie kansverdelingen laten zien voor eenzelfde schatting $\hat{GHG}$, met afnemende onzekerheid van verdeling 1 tot 3. Te zien is dat naarmate de onzekerheid kleiner wordt de kans dat de werkelijke waarde van de GHG dicht bij de schatting ligt groter wordt en het betrouwbaarheidsinterval kleiner: De kans op grote fouten is dus kleiner en de zekerheid dus groter.

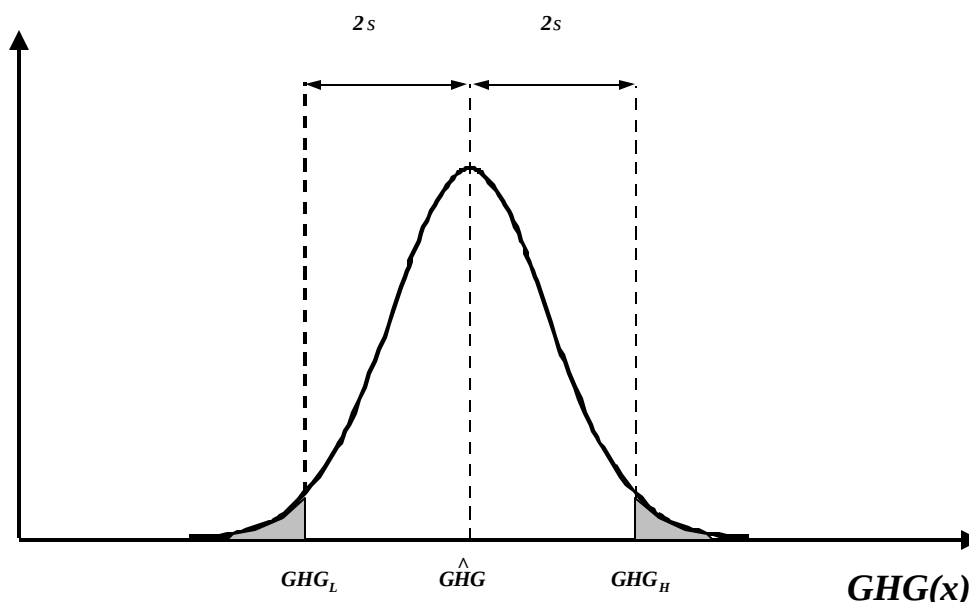


Figuur 29 Drie kansverdelingen van de GHG met afnemende onzekerheid van 1 naar 2 naar 3; de dubbele peilen geven de breedte van het 95-procent betrouwbaarheidsinterval aan

Naast het 95%-betrouwbaarheidsinterval wordt ook vaak de standaardafwijking van de kansverdeling van de te schatten variabele gebruikt als maat voor onzekerheid (andere namen: “standaardafwijking van de schattingsfout” of ook wel kortweg “standaardfout”). Deze wordt meestal voorgesteld met het symbool s (sigma).

Als het gaat om schattingsfouten blijkt in de praktijk dat de “Normale verdeling” of “Gaussverdeling” een goede beschrijving geeft. Dat is de verdeling die in bovenstaande plaatjes is gebruikt. Voor een dergelijke verdeling geldt dat de geschatte waarde ook die waarde is die hoort bij de grootste kans (zie Figuur 28 en Figuur 29). Verder geldt dat het 95%-betrouwbaarheidsinterval berekend kan worden uit de standaardfout zoals te zien is in Figuur 30. Er geldt namelijk voor een normale verdeling van de schattingsfout dat een 95%-betrouwbaarheidsinterval voor de GHG berekend wordt met: $[\hat{GHG} - 2s, \hat{GHG} + 2s]$.

Kansdichtheid



Figuur 30 Voor een normale verdeling van de schattingsfout wordt het 95%-betrouwbaarheidsinterval gegeven door de schatting plus/min twee maal de standaardafwijking van de schattingsfout

6.4 Onzekerheid: moeten we daar wat mee?

Naast een zo goed mogelijke schatting van de GHG krijgen we dus ook informatie mee over de onzekerheid over de GxG in de vorm van een kansverdeling. Een vraag die zich dan meteen opwerpt is: kunnen we de informatie over de onzekerheid voor kennisgeving aannemen en gewoon verder werken met de schatting $\hat{G} \times G$? Het antwoord hierop is “In het algemeen niet”. Hiervoor zijn twee redenen te geven.

1. We zijn niet altijd geïnteresseerd in een verwachtingswaarde!

De schatting geeft het gemiddelde van alle mogelijke waarden van een kansverdeling. De schatting wordt ook wel een “verwachting” genoemd. Daarom wordt ook gesproken van een weersverwachting: het echte weersbeeld over drie dagen is niet bekend. Het KNMI beschikt echter wel over een kansverdeling van weersbeelden. Het gemiddelde van deze kansverdeling wordt dan als weersverwachting gepresenteerd. De verwachting ligt typisch ergens in het midden van het bereik van de kansverdeling (bij een normale verdeling zelfs precies in het midden). We zijn daar echter niet altijd in geïnteresseerd. Stel nu dat we op basis van een historische reeks een kansverdeling van piekafvoeren (de hoogste dagafvoer in het jaar) hebben berekend. Om een dijk te bouwen gaan we die natuurlijk niet baseren op de verwachte piekafvoer. In dat geval is de kans dat in enig toekomstig jaar de afvoer groter is dan de dijk aankan 50%, zodat gemiddeld om het jaar een overstroming plaatsvindt. We zullen in dit geval typisch een waarde kiezen aan de bovenkant van het bereik, bijvoorbeeld de waarde waarvoor geldt dat de kans dat deze overschreden wordt kleiner is dan 1%. In dat geval kunnen we gemiddeld 1 maal per 100 jaar een

overstroming verwachten. Dit voorbeeld illustreert ook hoe de kansverdeling gebruikt kan worden om het risico van een beslissing in te schatten.

2. *Om systematische fouten te voorkomen bij het verder rekenen met de $G \times G$*

Stel dat we de GHG gebruiken om de natschade van een graslandperceel te schatten.

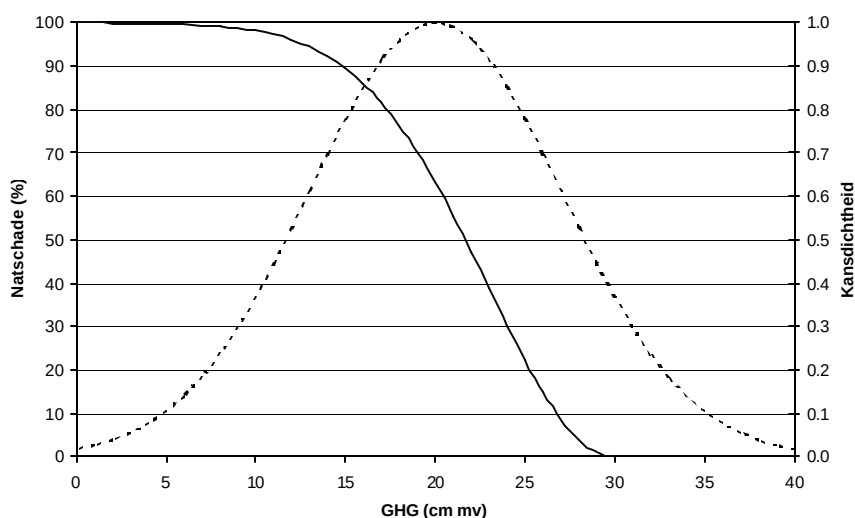
Stel ook dat de natschadefunctie de volgende vorm heeft:

$$S = 100 \left(1 - e^{-\left(\frac{40-GHG}{20}\right)^2} \right) \quad (2)$$

met S de natschade in % van de opbrengst en GHG in cm. Stel nu dat we de GHG geschat hebben als 20 cm met een standaardfout van 10 cm (dus een 95%-betrouwbaarheidsinterval van [0,40] cm.). Figuur 31 toont de natschadefunctie en de kansverdeling in één figuur.

Bij het maken van kaarten met natschade is men typisch geïnteresseerd in de *verwachte* natschade. De verwachte natschade is namelijk een zogenaamde *zuivere schatter* voor de echte maar onbekende natschade. In de praktijk betekent dit dat we door de verwachte natschade te nemen als schatting we (vanwege de onzekerheid in de GHG) op de ene plek de echte schade zullen overschatten en op de andere plek zullen onderschatten, maar dat we het gemiddeld voor een groter gebied (zoals een polder of een perceel) het goed doen: voor het perceel of de polder geldt dat in ieder geval de gebiedsgemiddelde natschade volgens onze schattingen ongeveer gelijk is aan de werkelijke gebiedsgemiddelde natschade.

Om de verwachte natschade te berekenen vertelt de kanstheorie ons dat we een gewogen gemiddelde van alle mogelijke natschaden in het relevante bereik moeten nemen (het bereik van GHG tussen de 5 cm boven en 40 cm beneden maaiveld) met de waarden van de kansverdeling als gewicht. Als we dit doen dan komen we voor dit geval uit op een verwachte natschade van 56.0 %. Als we direct de schatting van 20 cm invullen in de formule voor de natschade dan komen we op 63.2 %. In dit geval wordt de verwachte natschade dus systematisch overschat.



Figuur 31 Natschade functie (doorgetrokken lijn, linker as) en kansverdeling van GHG (stippellijn, rechter as) gebruikt in het rekenvoorbeeld van natschadeberekening onder onzekere GHG

De conclusie is dus dat als de (onzekere) GxG wordt gebruikt in verdere berekeningen we rekening moeten houden met de onzekerheid van de GxG ter voorkoming van systematische rekenfouten⁸. In de volgende paragraaf wordt een methode gegeven om deze onzekerheid eenvoudig in berekeningen mee te nemen.

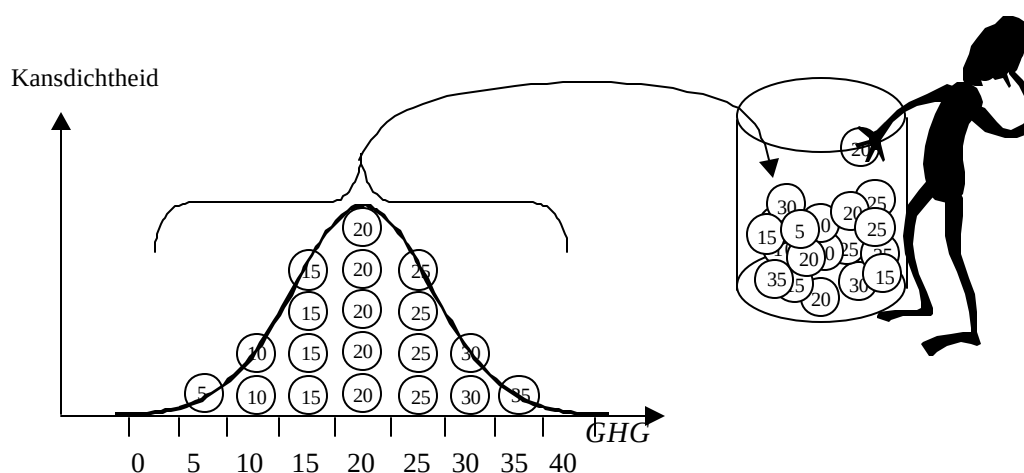
6.5 Omgaan met onzekerheid

Uit de vorige paragraaf is duidelijk geworden dat er bij voorkeur rekening gehouden moet worden met onzekerheid. De meest voorkomende manier om dit te doen is via “Monte Carlo simulatie”. Monte Carlo simulatie wordt toegepast als er sprake is van een (niet-lineair) model met onzekere input. Dat kan heel eenvoudig onze natschadefunctie zijn als functie van een onzeker GHG, maar ook de berekende stijghoogten door een grondwatermodel met onzekere doorlatendheid. Het doel van Monte Carlo simulatie is een schatting te geven van de kansverdeling van de modeluitvoer, gegeven de kansverdeling van de modelinvoer. Het is dus een vorm van foutendoorrekening omdat we op deze wijze analyseren wat de onzekerheid in de modeluitvoer is ten gevolge van onzekere modelinvoer. Bij Monte Carlo simulatie gaat men als volgt te werk:

1. Loot een groot aantal waarden uit de kansverdeling van de invoer (in ons geval de GHG). Dit loten kan men zich als volgt voorstellen (Figuur 32). De kansverdeling van de invoer wordt in een groot aantal kleine intervallen ingedeeld (dus GHG-intervallen). Per interval nemen we de middelwaarde en schrijven die op ballen. Het aantal ballen dat per interval wordt beschreven met het intervalmidden maken we evenredig met de kans dat de invoervariabele in dat

⁸ Er is één uitzondering op deze regel, namelijk als de formule waarmee we verder rekenen *lineair* is. Dit betekent dat de natschadefunctie de volgende vorm moet hebben: $S = a + b \cdot GHG$. In dat geval geldt dat we de verwachte natschade krijgen door de GHG schatting direct in de formule in te vullen.

interval valt. Intervallen die dicht bij het centrum van de kansverdeling liggen krijgen meer ballen toebedeeld dan die aan de uiteinden van de verdeling. Alle ballen worden in een pot gestopt en door elkaar gehusseld. Dan trekken we blind uit de pot een groot aantal ballen, waarbij na elke trekking de bal weer wordt teruggelegd in de pot en de ballen weer worden doorgehusseld. Na elke trekking schrijven we het nummer op de bal op een papier en na een groot aantal trekkingen (bijvoorbeeld 100) hebben we een rij getallen die onderling onafhankelijke trekkingen uit de kansverdeling voorstellen. Zo'n trekking noemt men ook wel een realisatie. Elke bal heeft dezelfde kans om getrokken te worden⁹. Echter, het zal wel zo zijn dat er in de 100 getrokken getallen relatief meer getallen zullen zitten die dicht bij het midden van de kansverdeling liggen dan er ver vanaf, omdat er in de pot ook meer ballen uit die centrale intervallen zijn gestopt.



Figuur 32 Schematische weergave van het loten van (random) getallen uit een kansverdeling.

In werkelijkheid gebeurt dit trekken van getallen uit een kansverdeling door een computer en worden niet alleen getallen uit het midden van een beperkt aantal intervallen getrokken, maar alle mogelijke getallen uit het bereik van de invoervariabele, natuurlijk evenredig met hun kans van voorkomen. Een computerprogramma dat dergelijke getallen kan genereren heet een “*random number generator*”.

2. Het model wordt toegepast op alle gelote getallen, leidend tot evenzoveel modeluitkomsten. Dus als 100 GHGs zijn geloot, dan worden ook 100 natschades berekend.
3. Uit de alle modeluitkomsten volgt dan de kansverdeling van de modeluitvoervariabele, in ons geval de kansverdeling van de natschade. Van deze kansverdeling kunnen we het volgende uitrekenen:
 - a. *de verwachtingswaarde*. Dit is de beste zuivere schatting van de onbekende modeluitkomst gegeven de onzekerheid in de modelinvoer. Dus gemiddeld over het gebied maak je met deze schatting de kleinste fout. Als er dan toch

⁹ In de literatuur wordt dan ook vaak gesproken over evenzo-waarschijnlijke realisaties.

gewerkt moet worden met 1 modeluitkomst dan is dat de beste waarde. De verwachtingswaarde wordt geschat door het gemiddelde van de modeluitvoeren te berekenen. Als N het aantal gelote invoergetallen is en $y_1, \dots, y_N$ de modeluitkomsten behorende bij de getrokken invoergetallen dan wordt de verwachting geschat als:

$$\hat{m}_y = \frac{1}{N} (y_1 + y_2 + \dots + y_N) \quad (2)$$

waarbij m_y als symbool gebruikt wordt voor de verwachte modeluitvoer en het dakje erboven aangeeft dat het hier om een schatting gaat. Deze schatting wordt beter naarmate N groter wordt;

- b. de *standaardfout* van de modeluitvoer. Deze geeft een maat voor de onzekerheid in modeluitkomsten. De standaardfout s_y wordt als volgt geschat uit de modeluitkomsten $y_1, \dots, y_N$:

$$\hat{s}_y = \sqrt{\frac{1}{N-1} ((y_1 - \hat{m}_y)^2 + (y_2 - \hat{m}_y)^2 + \dots + (y_N - \hat{m}_y)^2)} \quad (3)$$

- c. de *cumulatieve kansverdeling*. Hieruit kunnen we berekenen wat de kans is dat de uitvoervariabele (in ons geval natschade) kleiner of gelijk is dan een zekere waarde. Hiertoe sorteren we de getrokken modeluitkomsten van klein naar groot. Stel nu dat $y_1, \dots, y_N$ de gesorteerde reeks is. Dan geldt dat de kans dat de uitvoervariabele kleiner of gelijk is aan y_k , het k de getal in de reeks, geschat wordt door:

$$\hat{p}(y_k) = \frac{k}{N+1} \quad (4)$$

Een plot van $\hat{p}(y_k)$ vs. y_k is dan de cumulatieve kansverdeling. Voor willekeurige waarden van y kan de waarde van de cumulatieve kansverdeling berekend worden via lineaire interpolatie. Bijvoorbeeld voor een getal y dat ligt tussen y_k en y_{k-1} geldt dan:

$$\hat{p}(y) = \hat{p}(y_{k-1}) + (y - y_{k-1}) \left[\frac{\hat{p}(y_k) - \hat{p}(y_{k-1})}{y_k - y_{k-1}} \right] \quad (5)$$

De cumulatieve kansverdeling geeft voor elke waarde de kans dat de uitvoervariabele kleiner of gelijk is dan een zekere waarde. Voor het berekenen van risico's werkt met veel met *overschrijdskansen* van kritische waarden. Bijvoorbeeld: wat is de kans dat de natschade groter is dan 30%? Als y_c een kritische waarde is dan volgt de overschrijdskans als complement van de cumulatieve frequentieverdeling:

$$\Pr[y > y_c] = 1 - p(y_c) \quad (6)$$

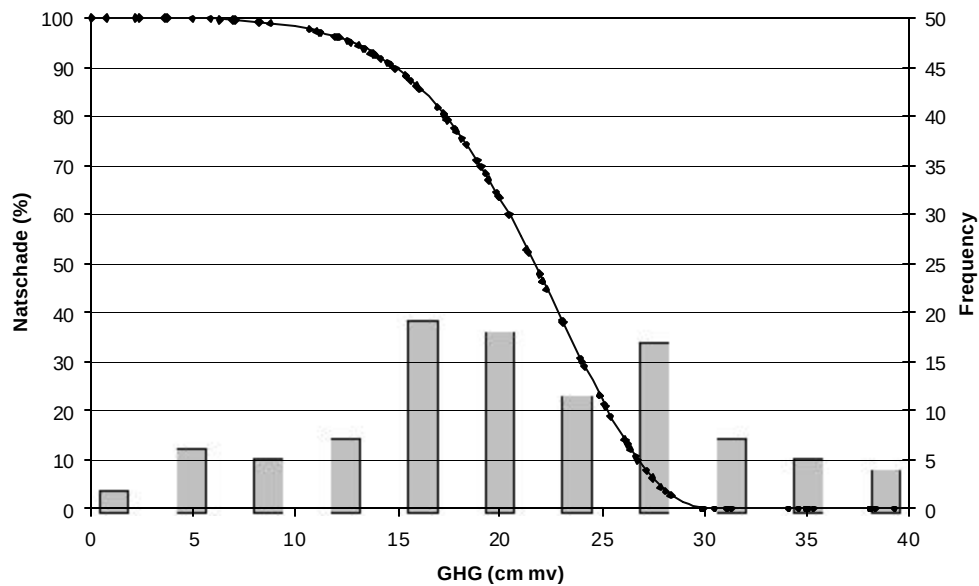
Tenslotte kunnen we uit de cumulatieve kansverdeling ook het 95%-betrouwbaarheidsinterval van de uitvoervariabele schatten. Hiertoe zoeken we y_L als die waarde waarvoor geldt dat $\hat{p}(y_L) = 0.025$ en we y_H als die waarde waarvoor geldt dat $\hat{p}(y_H) = 0.975$. De waarden y_L en y_H vormen dan respectievelijk de bovengrens en de ondergrens van het 95%-betrouwbaarheidsinterval. Als y normaal verdeeld is kunnen deze waarden ook gevonden worden via

$$\hat{y}_L = \hat{m}_y - 2\hat{s}_y$$

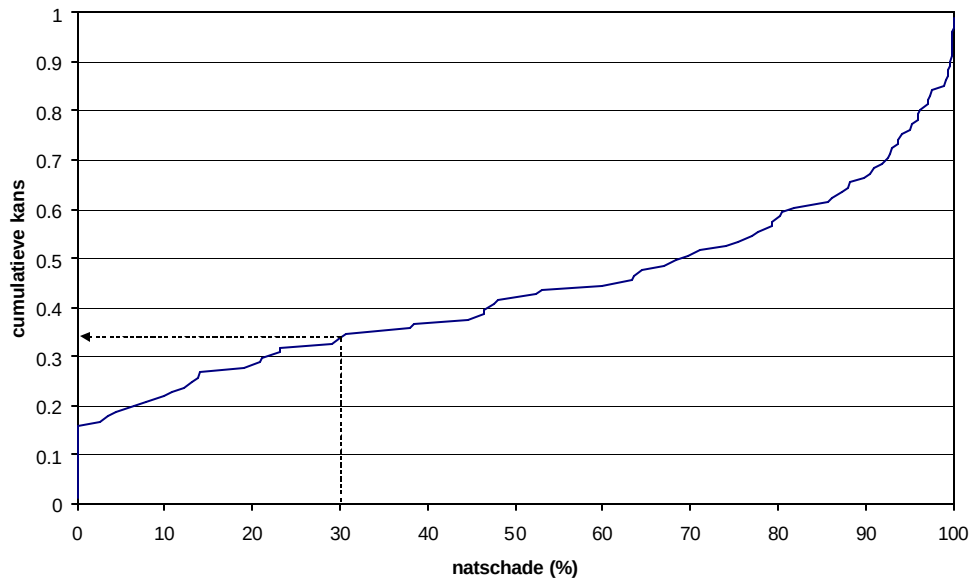
$$\hat{y}_H = \hat{m}_y + 2\hat{s}_y$$

Keren we tenslotte nog eenmaal terug naar ons voorbeeld van de natschade van Figuur 31 en passen we Monte Carlo simulatie daarop toe. Hiertoe zijn 100 mogelijke waarden van GHG getrokken uit de kansverdeling van Figuur 31. Voor elk van de 100 waarden is vervolgens de natschade berekend met Vergelijking (2). Figuur 33 en Figuur 34 tonen het resultaat. Figuur 33 laat zien dat er 100 combinaties van GHG en bijbehorende natschade zijn getrokken en laat via het histogram ook zien dat weliswaar het hele bereik van GHG en natschade wordt bestreken, maar dat vanwege de normale verdeling van GHG er meer trekkingen rond het midden van het GHG bereik (in de buurt van de schatting) liggen dan aan de uiteinden. De verwachting van de natschade is 56.7% en ligt dus dicht bij de exacte waarde van 56.0%¹⁰. De standaardfout van de natschade is 39%, dus de onzekerheid is in dit geval erg groot. Figuur 34 geeft de cumulatieve kansverdeling van de natschade. Deze is duidelijk niet normaal verdeeld (dan zou het een mooie s-curve zijn). Uit de cumulatieve kansverdeling kan worden afgelezen dat in dit geval de kans dat de natschade groter is dan 30% aanzienlijk is (ca 66%): $1 - 0.34 = 0.66$.

¹⁰ Voor simpele modellen zoals Vergelijking 2 met enkelvoudige normaal verdeelde invoer is het ook mogelijk om analytisch (exact wiskundig) de kansverdeling (incl. verwachting, standaardafwijking etc.) van de uitvoervariabele te berekenen; dit is gedaan in de vorige paragraaf. Voor complexere modellen en kansverdelingen van invoervariabelen moet de kansverdeling van de uitvoervariabele vrijwel altijd worden benaderd via Monte Carlo simulatie. Deze benadering wordt beter naarmate het aantal gelote waarden groter wordt. Voor complexe modellen zit hier echter een beperking aan in verband met rekentijden.



Figuur 33 Gelote GHG en bijbehorende natschade (linker y-as) geplot op de lijn volgens Vergelijking (2) en een histogram (rechter y-as) (breedte klassen 4%) dat laat zien dat gemiddelde waarden meer worden getrokken dan uitersten.



Figuur 34 Cumulatieve frequentieverdeling van natschade geschat uit Monte Carlo simulatie met 100 gelote GHG-waarden

6.6 Omgaan met onzekerheid in de GxG

In deze paragraaf wordt voor het specifieke geval van de GxG behandeld op welke manieren met onzekerheid kan worden omgegaan. In geval van GxG-kaarten met onzekerheidsmarges kunnen de volgende scenario's van toepassing zijn:

1. De GxG is het eindresultaat. Er moet voor een bepaalde plek de GxG worden bepaald. De beste schatting $\hat{G}xG$ is de GxG die op de kaart staat en de standaard-afwijking van de schattingsfout s kan van de bijbehorende kaart worden afgelezen. Onder veronderstelling dat de schattingsfout normaal verdeeld is, wordt het 95%-betrouwbaarheidsinterval van de GxG gegeven door $[G\hat{x}G - 2s, G\hat{x}G + 2s]$.
2. De GxG wordt gebruikt om mee verder te rekenen, maar wel met een *lineaire* vergelijking. Het meest algemene geval van een lineaire vergelijking in termen van GHG , GVG en GLG is de volgende:

$$y = a + b \cdot GHG + c \cdot GVG + d \cdot GLG \quad (7)$$

De uitvoer y kan bijvoorbeeld een doelvariabele zijn die van GHG , GVG en GLG afhangt, bijvoorbeeld het aantal bewerkbare dagen, droogteschade of de realisatiegraad van een bepaald doeltype. Overigens geldt natuurlijk dat we met (7) andere lineaire modellen kunnen construeren door a , b , c of d gelijk aan nul te zetten. Bijvoorbeeld, als y alleen afhangt van de GHG en de GLG dan zetten we c gelijk aan 0 en krijgen we $y = a + b \cdot GHG + d \cdot GLG$. Voor een lineair model als (7) geldt dat we de beste zuivere schatting van y krijgen door eenvoudig de beste schattingen van de GxG (uit onze kaarten) in te vullen:

$$\hat{y} = a + b \cdot G\hat{H}G + c \cdot G\hat{V}G + d \cdot G\hat{L}G \quad (8)$$

Met a , b , c en d coëfficiënten die elke reële waarde kunnen hebben. Het berekenen van de variantie van de schattingsfout $y - \hat{y}$ is niet zo eenvoudig. Hierbij moeten we rekening houden met het feit dat de fouten in schattingen van GHG , GVG en GLG waarschijnlijk gecorreleerd zijn: een overschatting van GVG zal waarschijnlijk ook leiden tot een overschatting van GHG etc. Bij het berekenen van de standaardafwijking van de schattingsfout in y moeten we hier rekening mee houden. De algemene formule die rekening houdt met deze correlaties is de volgende:

$$s_y = \sqrt{b^2 s_H^2 + c^2 s_V^2 + d^2 s_L^2 + 2bcs_H s_V r_{HV} + 2cds_V s_L r_{VL} + 2bds_H s_L r_{HL}} \quad (9)$$

met

s_y standaardafwijking schattingsfout in y ;

s_H, s_V, s_L standaardafwijkingen van schattingsfouten in respectievelijk GHG , GVG , GLG (af te lezen van standaardfoutenkaart);

r_{HV}, r_{VL}, r_{HL} correlatiecoëfficiënten tussen schattingsfouten in respectievelijk GHG en GVG , GVG en GLG , GHG en GLG .

De correlatiecoëfficiënten kunnen worden bepaald op validatiepunten. Een dergelijke validatiestudie uitgevoerd in Oost Gelderland leverde de volgende waarden op: $r_{HV} = 0.980$, $r_{VL} = 0.782$, $r_{HL} = 0.758$. Bij gebrek aan

gebiedspecifieke waarden kunnen deze waarden in open dekzandgebieden worden gebruikt. Vergelijking (9) geldt dus voor het lineaire model (7). Als we de schattingsfout in $y = a + b \cdot GHG + d \cdot GLG$ willen weten dan passen we formule (9) toe met $c=0$: de tweede, vierde en vijfde term onder het wortelteken vervallen dan. Tenslotte zij opgemerkt dat als we veronderstellen dat de schattingsfout in y normaal verdeeld is dat een 95%-betrouwbaarheidsinterval voor y gegeven wordt door $[\hat{y} - 2s_y, \hat{y} + 2s_y]$.

3. De GxG wordt gebruikt om mee verder te rekenen, maar nu met een *niet-lineaire* vergelijking of model. In dat geval moeten we Monte Carlo simulatie toepassen zoals beschreven in paragraaf 5. Er doen zich echter twee complicaties voor. Ten eerste moeten we ook hier rekening houden met de correlaties in schattingsfouten r_{HV}, r_{VL}, r_{HL} . Dus als we een relatief hoge waarde van GHG loten, moet de kans groot zijn dat we ook relatief hoge waarden van GVG en GLG loten en vice versa. Dus in plaats van het apart loten van GHG , GVG en GLG worden nu gecorreleerde triplets geloot. Ten tweede moet natuurlijk voor elk geloot triplet GHG , GVG en GLG gelden dat: $GHG < GVG < GLG$. Uitgangspunt van de Monte Carlo simulatie van GxG zijn de volgende statistieken van GxG: kaarten met schattingen van GHG , GVG en GLG ; kaarten met standaard-afwijkingen van de schattingsfouten; correlatiecoëfficiënten r_{HV}, r_{VL} en r_{HL} . Er wordt bij het loten van GHG , GVG en GLG verondersteld dat deze gezamenlijk normaal verdeeld zijn. De Monte Carlo simulatie gebeurt dan als volgt:
 - (i) loot per pixel van de GxG-kaart een groot aantal (bijv. $N=100$) triplets $\{GHG, GVG, GLG\}$ op basis van boven beschreven statistieken. Per triplet moet gelden dat $GHG < GVG < GLG$. Als een triplet wordt geloot waarvoor dat niet geldt dan wordt het niet geaccepteerd en een nieuw geloot, net zolang tot N geaccepteerde triplets zijn geloot;
 - (ii) het model wordt berekend met elk individueel triplet als invoer. Dit resulteert dus in N modeluitvoeren;
 - (iii) uit de N modeluitvoeren kunnen de statistieken van de modeluitvoer (bijv. natschade) worden berekend, zoals de verwachting (de beste schatting), de standaardafwijking (maat voor onzekerheid over de uitvoervariabele), de cumulatieve kansverdeling en daar van afgeleid overschrijdingskansen (ivm risico's) en het 95%-betrouwbaarheidsinterval (een andere maat voor onzekerheid over de uitvoervariabele).

Om het simuleren van triplets van GxG (stap i hierboven) te vergemakkelijken is een computer-programma geschreven dat gratis kan worden *gedownload* van de GD-platform site:

<http://www.alterra.wageningen-ur.nl/programma/328/GdPlatform/index.html>.

Dit programma wordt besproken in een volgende paragraaf van dit rapport.

Tenslotte wijden we nog een aantal woorden aan classificatie. Soms is het model dat in de Monte Carlo analyse wordt gebruikt een classificatie. Het meest eenvoudige voorbeeld is het classificeren naar grondwatertrap op basis van GHG en GLG . Een ander voorbeeld is dat combinaties van GHG , GVG en GLG leiden tot een bepaalde

opbrengstklasse, geschiktheidsklasse of doelrealisatieklasse. Bij onzekere GxG kan men als volgt te werk gaan:

- a. gewoon classificeren zonder rekening te houden met de onzekerheid over *GHG*, *GVG* en *GLG*. De Gt-kaarten geleverd door Alterra zijn op deze wijze gemaakt. Nadeel is dat deze methode waarschijnlijk leidt tot een onzuivere schatting van de onbekende klasse omdat classificatie eigenlijk een niet-lineaire transformatie is. Bij Gt-classificatie kan dit bijvoorbeeld leiden tot een onderschatting van het aantal hele natte en hele droge Gt's;
- b. een tweede mogelijkheid is het uitvoeren van een Monte Carlo simulatie en een kansverdeling van klassen te schatten. In het geval van Gt-classificatie kan men bijvoorbeeld 100 *GHG/GLG* paren loten en classificeren. Men kan vervolgens de meest voorkomende klasse als beste schatting nemen (in remote sensing noemen ze dat ook wel een *maximum-likelihood* classificatie). Een nadeel van deze methode is dat het voorkomen van weinig voorkomende klassen kan worden onderschat;
- c. een derde mogelijkheid bestaat uit een *maximum-likelihood* classificatie zoals beschreven onder 2, maar nu gevolgd door een procedure waarbij de geclassificeerde kaart zodanig wordt bijgesteld dat de frequentie van voorkomen van klassen op de kaart overeenkomt met die van de waarnemingen (de stambuizen en gerichte opnamen). Een dergelijke procedure wordt beschreven in Soares (1992). Het voert te ver om hiervan een beschrijving te geven.

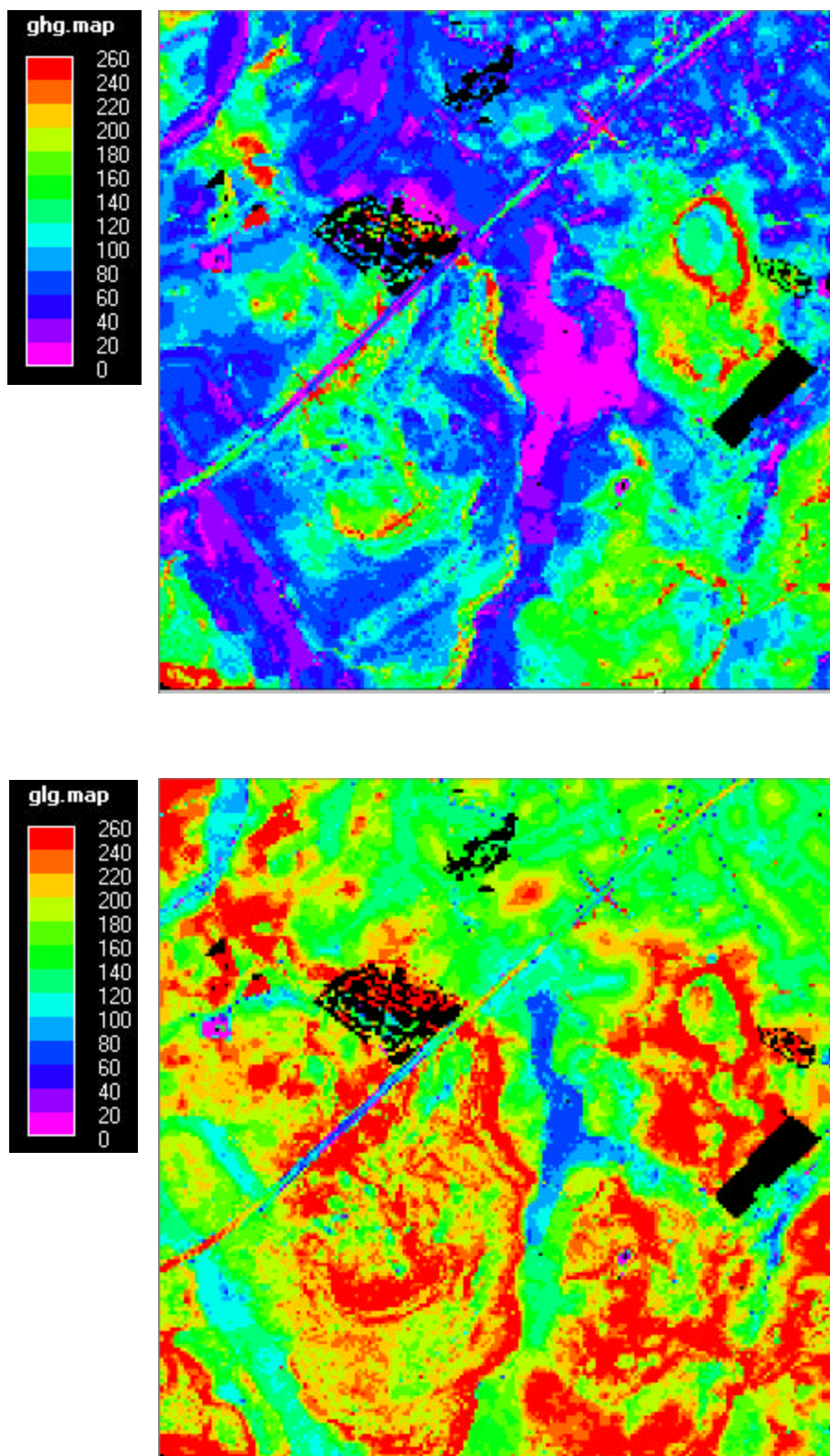
Verreweg het meest verstandige is om de classificatie te laten voor wat zij is en direct te werken met GxG's en modellen die een continue uitvoer geven. Ten behoeve van het weergeven op een kaart kan dan aan het eind van de rit nog een classificatie van het eindresultaat worden gemaakt.

6.7 Een praktijkvoorbeeld: natschade en droogteschade

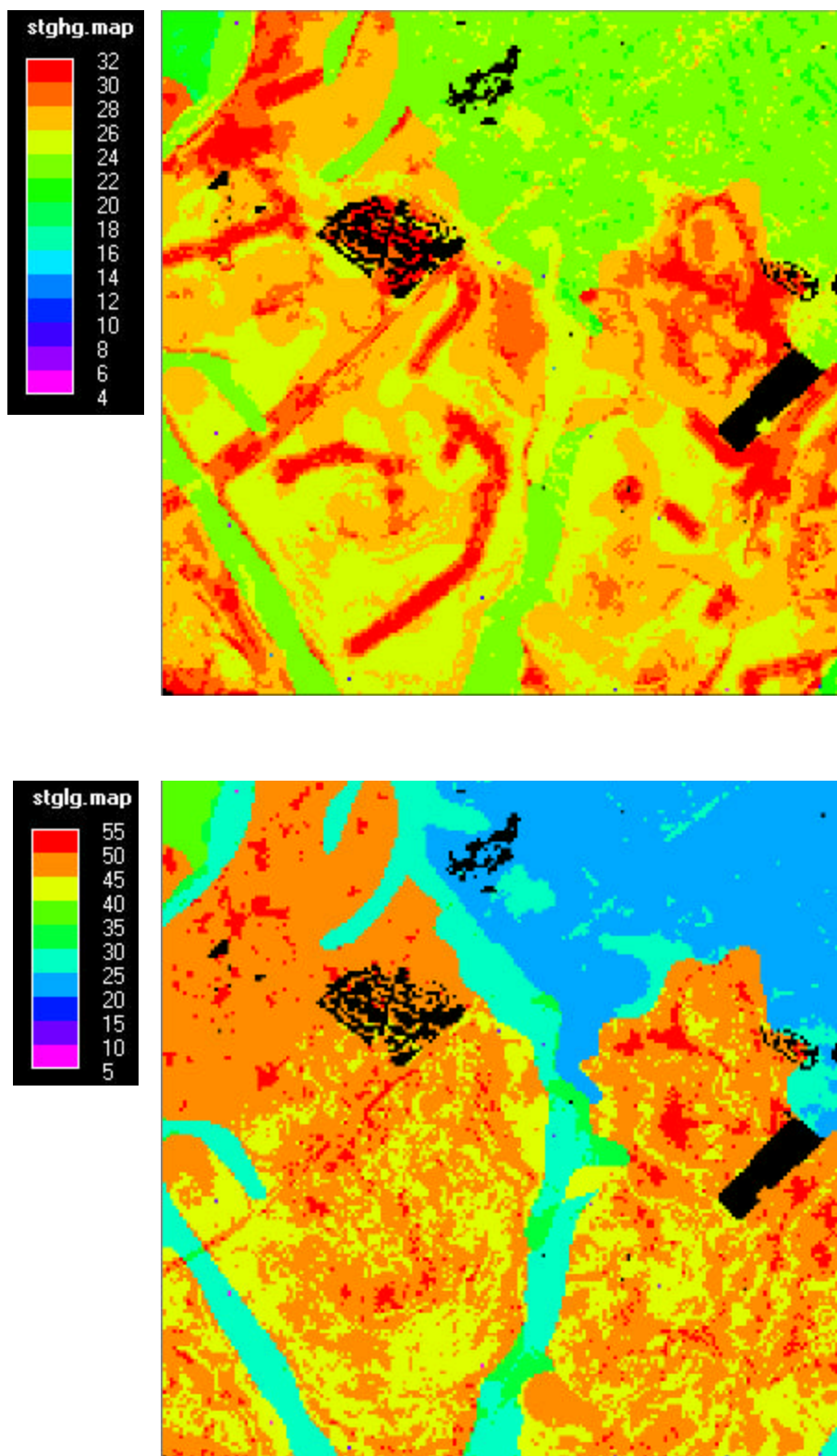
Als voorbeeld van een echte toepassing van bovenstaande methoden beschouwen we een clip uit het GD-bestand van Brabant. Figuur 35 toont de *GHG* en de *GLG*. De standaardfouten zijn afgebeeld in Figuur 36. Met de volgende waarden voor de correlatiecoëfficiënten $r_{HV} = 0.980$, $r_{VL} = 0.782$, $r_{HL} = 0.758$ (uit de validatiestudie Oost Gelderland) zijn per pixel 100 triplets van *GHG*, *GVG* en *GLG* geloot. Vervolgens is per gelote *GHG/GLG* combinatie met de Helptabel een natschade en een droogteschade (in % opbrengst) bij gebruik als grasland berekend. Hiervoor hebben we ook een bodemkaart nodig. Figuur 37 toont een bodemkaart van het gebied, waarbij we het gebied globaal hebben ingedeeld in Veldpodzolgronden (gronden op dekzandruggen, Helpcode H1a), Beekeerd- en Gooreerdgronden (gronden in beekdalen, Helpcode cZ1b) en Enkeerdgronden (oude essen, Helpcode EZ1b). Het resultaat is per pixel 100 waarden van natschade en droogteschade. Het gemiddelde van deze 100 waarden geeft de verwachte natschade, hetgeen de beste zuivere schatting geeft van de onbekende natschade. Figuur 38 toont de verwachte natschade en droogteschade. Wat is nu het verschil met het direct berekenen van de natschade en droogteschade uit de geschatte *GHG/GLG* (Figuur 35) zonder met onzekerheid rekening te houden? Figuur 39 toont voor natschade en droogteschade het verschil tussen de conventionele methode van direct berekenen en de methode

die rekening houdt met onzekerheid. De kaarten laten zien dat er lokaal verschillen van enkele procenten kunnen ontstaan. Grofweg geldt dat de opbrengstdepressie in de lage gedeelten iets wordt onderschat (1-5%) en in de hogere gedeelte iets wordt overschat (1-2%). Hierbij is het goed te weten dat 1% verschil in opbrengstderving overeenkomt met ca 15 Euro per ha per jaar, op basis van een jaaropbrengst per ha per jaar onder optimale omstandigheden.

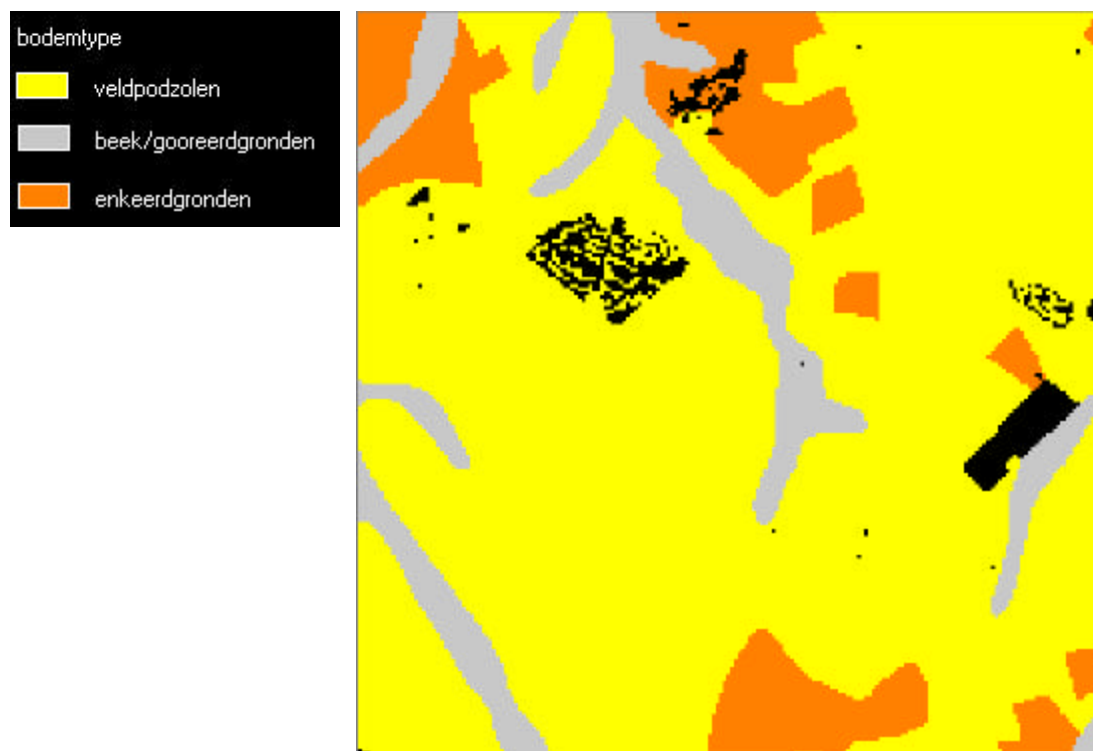
Naast de verwachte natschade en droogteschade kan men op basis van de 100 berekende natschades en droogteschades ook de standaardafwijking berekenen, i.c. een maat voor de onzekerheid. Figuur 40 geeft de kaarten met standaardfouten voor natschade en droogteschade. De grootse onzekerheid treft men aan in de natste gebieden. Tenslotte kunnen we op deze wijze ook een risicoanalyse doen door bijvoorbeeld te kijken wat de kans is dat de natschade of droogteschade op een locatie groter is dan 30%. Deze kans kan eenvoudig worden berekend door te kijken welke fractie van de 100 gesimuleerde natschades en droogteschades op een pixel groter zijn dan 30%. De resulterende kaarten in Figuur 41 laten zien dat deze kansen in de natte en droge gebieden aanzienlijk kunnen zijn.



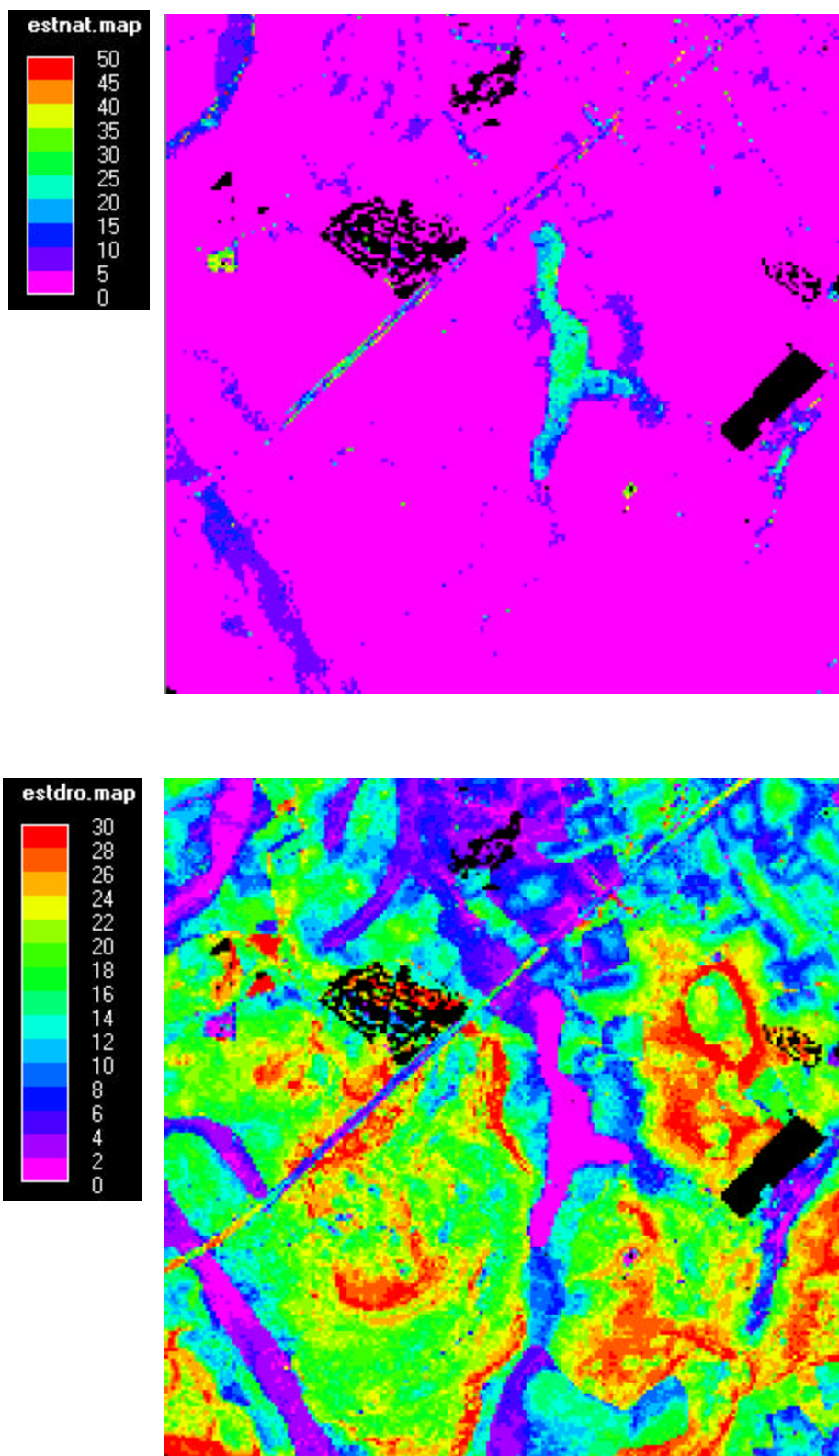
Figuur 35 Geschatte GHG (boven) en GLG (onder) in cm



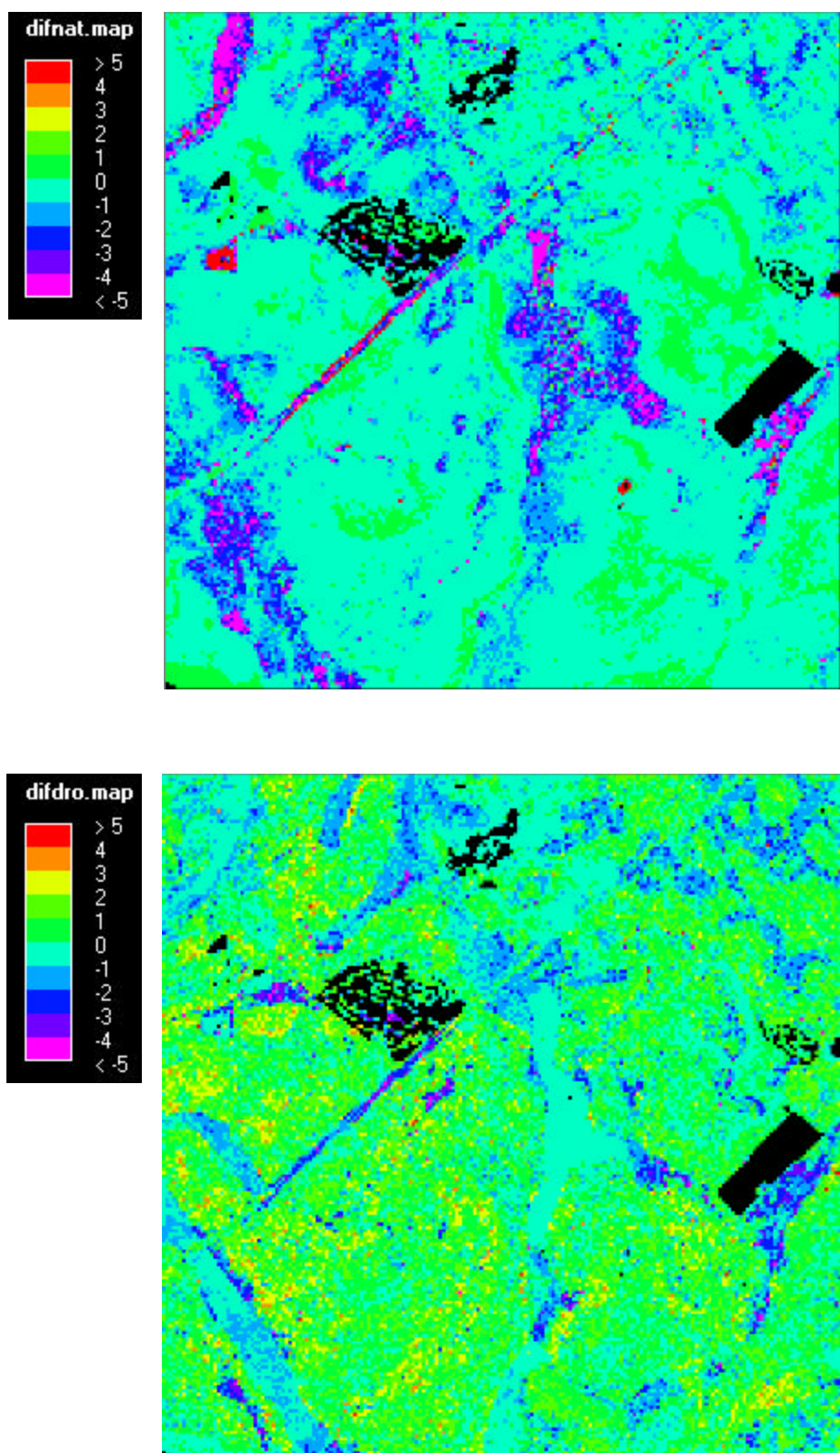
Figuur 36 Standaardafwijkingen schattingsfout van GHG (boven) en GLG (onder) in cm



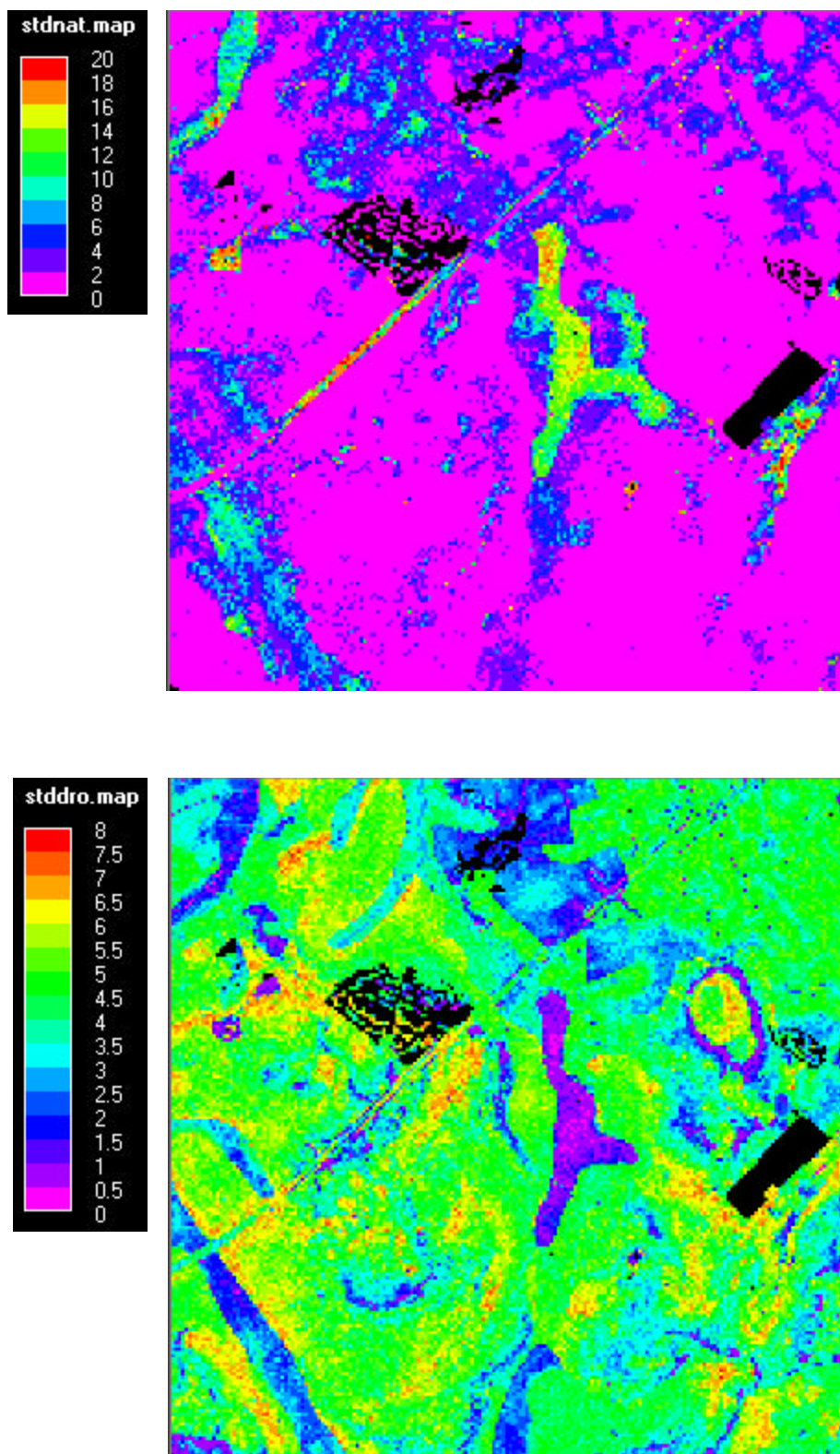
Figuur 37 Vereenvoudigde bodemkaart voor evaluatie natschade en droogteschade met HELP



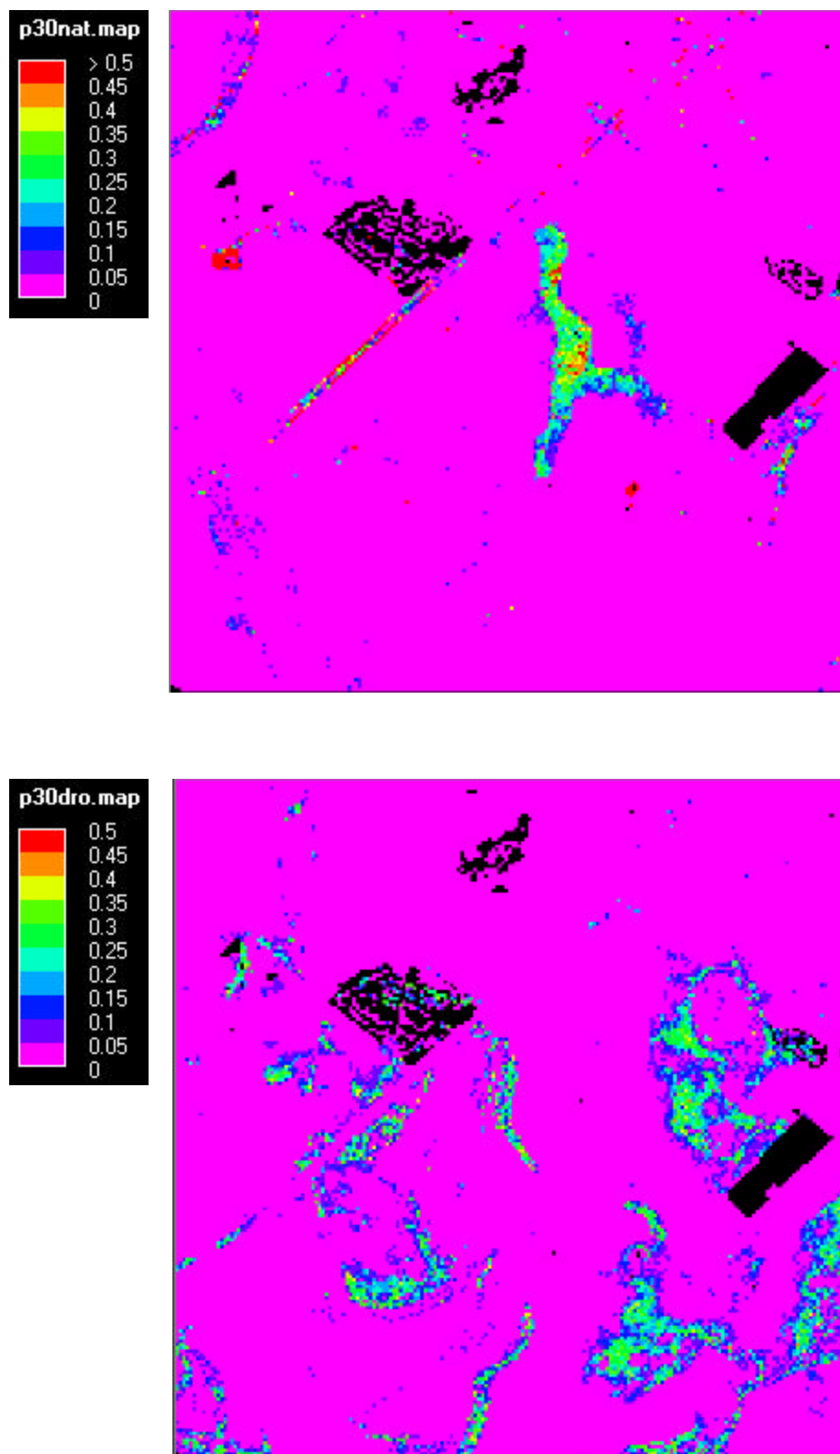
Figuur 38 Verwachte natschade (boven) en droogteschade (onder) in % opbrengst voor grasland op basis van Monte Carlo simulatie: 100 gelote GHG/GLG-waarden per pixel



Figuur 39 Verschil in berekende natschade (boven) en droogteschade (onder) in % opbrengst tussen de conventionele methode en de methode die rekening houdt met onzekerheid



Figuur 40 Standaardafwijking schattingsfout voor natschade (boven) en droogteschade (onder) in % opbrengst.



Figuur 41 Kans dat de natschade (boven) en de droogteschade (onder) meer is dan 30% van de opbrengst.

6.8 Een programma om GxGs te simuleren

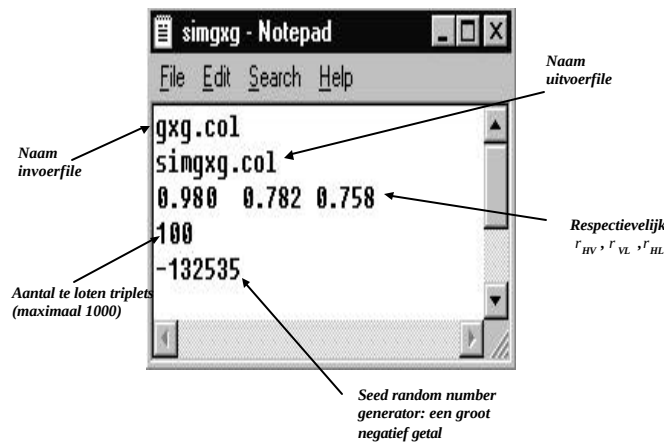
Ten behoeve van het loten van triplets $\{GHG, GVG, GLG\}$ is het Fortran77-programma SIMGXG geschreven.

Het programma kan als volgt gedraaid worden:

1. zet het programma genaamd simgxg.exe in 1 folder (directory) met alle benodigde invoerfiles;
2. open een DOS-box en ga naar de aangemaakte folder en type "simgxg"; of ga met Windows Explorer naar de aangemaakte folder en dubbelclick op simgxg.exe.

In de aangemaakte folder moeten de volgende invoerfiles aanwezig zijn:

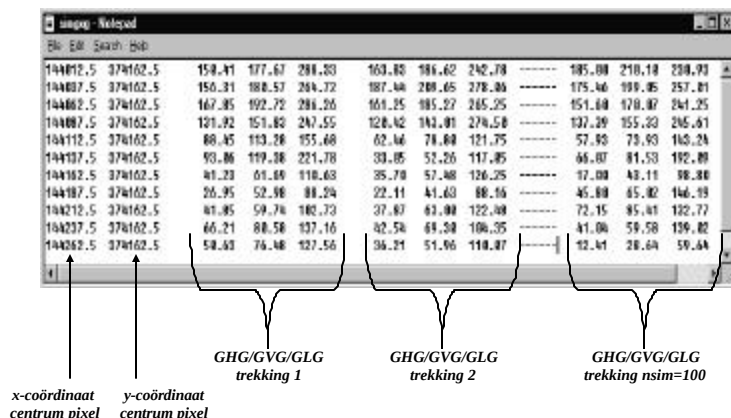
1. een file genaamd "simgxg.par". In deze file staan een aantal administratieve gegevens. Deze file moet er als volgt uitzien:



2. een invoerfile (hier genaamd "gxg.col") met daarin de coördinaten van de pixels de GxG's en de standaardfouten. Deze file ziet er als volgt uit:

x-coördinaat centrum pixel	y-coördinaat centrum pixel	GHG	Standaard- fout GHG	GVG	Standaard- fout GVG	GLG	Standaard- fout GLG
147637.5	373262.5	28	24	50	24	120	24
147662.5	373262.5	50	22	72	23	140	24
147687.5	373262.5	53	22	75	23	140	24
147712.5	373262.5	37	24	60	25	140	24
147737.5	373262.5	41	24	64	24	140	23
147762.5	373262.5	92	22	110	22	160	24
147787.5	373262.5	120	23	140	24	170	24
147812.5	373262.5	98	22	120	22	170	24
147837.5	373262.5	100	22	130	22	170	24
147862.5	373262.5	85	21	110	22	160	24

De uitvoerfile (hier "simgxg.col") heeft de volgende structuur:



Met behulp van de gesimuleerde triplets per pixel kan de gebruiker verdere berekeningen doen tbv Monte Carlo analyse. Het programma met voorbeeldfiles gebruikt voor deze studie kan worden *gedownload* van de GD-platformsite: <http://www.alterra.wageningen-ur.nl/programma/328/GdPlatform/index.html>.

Literatuur

Soares, A., 1992. Geostatistical estimation of multi-phase structures. *Mathematical Geology* 24(2): 149-160.

7 Conclusies en aanbevelingen

Grondwaterdynamiek

1. 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 vóórkomende Gt's en het beheersgebied moeten worden nagestreefd.
2. De huidige Gd-kartering is uitgevoerd met een vóóraf bepaalde waarnemingsdichtheid (gemiddeld ca. 1 observatie per 110 hectare). 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. In een indicatieve analyse werden kostentoeenames met een factor 17 of nog aanzienlijk hoger voorspeld om voorspelfouten terug te kunnen brengen van 40 cm naar 30 cm. Het wordt daarom aanbevolen de relatie tussen méérinvestering en verwacht rendement nader uit te werken voor die gebieden waar een kwaliteitsverbetering gewenst is.
3. Verdere kwaliteitsverbetering kan worden bereikt door nieuwe hulpinformatie gebiedsdekkend beschikbaar te maken (met name de aanwezigheid en diepte van ondergrondse drainage, gedetailleerde peilvakinformatie en grondwater-onttrekkingsgegevens). 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.
4. 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. Het wordt aanbevolen bij het uitvoeren van berekeningen met de GxG-bestanden de gekwantificeerde onzekerheid hierbij te betrekken op de manier zoals beschreven in hoofdstuk 6. Indien dat niet gebeurt, is er een risico dat de berekeningsresultaten systematische fouten zullen bevatten. Dit geldt voor alle niet-lineaire rekenregels of modellen die de GxG als invoervariabele hebben.
5. Als onderdeel van de kartering wordt de kwaliteit van de GxG-bestanden berekend. In ca. 68, 84 en 51% (resp. GHG, GVG, GLG) van het gebied kan worden gesproken van een lage of normale onzekerheid in vergelijking met andere karteringen ($sd < 40$ cm). De gebieden met grotere onzekerheid (Drunense Duinen; Het Zand/Chaamse bossen) hebben diepe en variabele GxG. Hier zou

- een aanzienlijk hogere waarnemingsdichtheid moeten worden gehanteerd om deze onzekerheid te reduceren. De nu in kaart gebrachte voorspelfout kan ook gebruikt worden om extra waarnemingen te plannen in die gebieden waar dat het hardst nodig is. Hiermee kan de kaart worden verbeterd door de stap "kriging op residuen" opnieuw uit te voeren.
6. 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 verdroging. De verschuivingen in termen van GHG en GLG zijn met name in de drogere gronden niet precies vast te stellen omdat deze ten tijde van het maken van de oude Gt-kaart alleen als "dieper dan" een grenswaarde zijn aangegeven. In het noordelijke deel van het Waterschap zijn de GHG en GLG-veranderingen niet groot, maar worden er soms wel Gt-klassengrenzen overschreden.

Maatgevende afvoer

De specifieke afvoer is ten opzichte van de oude tabel (Cultuurtechnisch Vademecum) nader opgesplitst en het bereik van de berekende specifieke afvoer is groter. Het grotere bereik wordt veroorzaakt door de kwel/wegzijging die in de nieuwe opzet is meegenomen. De nadere opsplitsing maakt het mogelijk om de nieuwe methodiek op een kleiner schaalniveau toe te passen. Ook de validatie en de plausibiteittoets geven aan dat de afvoer goed wordt berekend op een klein schaalniveau zowel voor gebieden met een geringe als een relatief hoge maatgevende afvoer. De gevolgde aanpak biedt ook perspectieven om effecten van waterhuishoudkundige maatregelen op de maatgevende afvoer te voorspellen.

Literatuur

- Bierkens, M.F.P., M. Knotters en F.C. van Geer. 1999. Tijdreeksanalyse nu ook toepasbaar bij onregelmatige meetfrequenties. *Stromingen* 5/2: 43-54.
- Bon, J, 1969. Topografie en vorm van het grondwatervlak als achtergrond van de te verwachten afvoeren in de Gelderse Achterhoek. *Cultuurtechnisch Tijdschrift* 8(3):1-14,1969.
- Boumans, L., A. Breeuwsma, W. van Duyvenbooden, D.J. Groot Obbink, S. Jelgersma, H. van Straten en J.H.M. Wösten, 1987. Kwetsbaarheid van grondwater. Kartering van de Nederlandse bodem in relatie tot de kwetsbaarheid van grondwater voor verontreiniging. *Rapport 840387003*, RIVM, Bilthoven.
- Bracht, M.J. van, 1988. OLGA: On Line Grondwater Archief. *Rapport PN88-11*, DGV-TNO, Delft.
- Dam, J.C. van, J. Huygen, J.G. Wesseling, R.A. Feddes, P. Kabat, P.E.V. van Walsum, P. Groenendijk, C.A. van Diepen, 1997. SWAP version 2.0, Theory. Simulation of water flow, solute transport and plant growth in the Soil-Water-Atmosphere-Plant environment. *Technical Document 45*, DLO Winand Staring Centre, Wageningen, 1997. Report 71, Department Water Resources, Wageningen Agricultural University, 1997.
- 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 Weerijdsgebied*.
- Finke, P.A., W.P.C. Zeeman, G. Schouten, J. Runhaar, P. van der Molen, W. van der Meer, J.J. de Gruijter, M.F.P. Bierkens, P.J.T. van Bakel, J. Hoeks. 2001. Beter werken met Watenood. Een proeftoepassing in De Leijen. *Alterra-rapport 267*.
- 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.
- Kleijer, H., 1992. De kartering van de grondwaterklassenkaart voor de herclassificatie van het Waterschap De Aa. *SC-Rapport 194*.
- Kleijer, H. 1993. De kartering van de grondwaterklassenkaart voor de herclassificatie van het Waterschap De Dommel en de Zandleij. *SC-Rapport 269*.
- Knotters, M. en P.E.V. van Walsum. 1994. Uitschakeling van weersinvloeden bij de karakterisering van het grondwaterstandsverloop. *SC-Rapport 350*.
- Knotters, M. en M.F.P. Bierkens. 1999. Hoe lang moet je de grondwaterstand meten om iets over de dynamiek te weten? *Stromingen* 5(4):5-12.
- Kroon, Timo, Peter Finke, Ivar Peereboom, en Arthur Beusen, 2001. Redesign STONE. De nieuwe schematisatie voor STONE: de ruimtelijke indeling en de toekenning van hydrologische en bodemchemische parameters. *RIZA rapport 2001.017*. RIZA, Lelystad.

- Massop, H (et al). 2000. Hydrologie voor STONE. Schematisatie en parametrisatie. *Alterra-Rapport 039*.
- Massop, H. Th. L., 2001. *Informatieinwinning oppervlaktewaterstelsel*. In prep, Wageningen.
- Massop, H.Th.L., L.C.P.M. Stuyt, P.J.T, van Bakel, J.M.M. Bouwmans en H.Prak, 1997. Invloed van de oppervlaktewaterstand op de grondwaterstand. Leidraad voor de kwantificering van de effecten van veranderingen in de oppervlaktewaterstand op de grondwaterstand. *SC-Rapport 527.1*, DLO Staring Centrum. Wageningen.
- Riele, W.J.M. te en D.J. Brus. 1992. Het gebruik van fysisch-geografische voorinformatie bij de ruimtelijke voorspelling van grondwaterstanden en grondwaterkarakteristieken (GHG en GLG). *SC-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. *SC-Rapport 414*.
- Sluijs, P. van der, 1982. De grondwatertrap als karakteristiek van het grondwaterstandsverloop. *H2O Tijdschrift voor watervoorziening en afvalwaterbehandeling* 15: 42-46.
- 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.
- Studiecommissie Waterbeheer Natuur, Bos en Landschap, 1990. *Handboek 'Grondwaterbeheer voor Natuur, Bos en Landschap.'*
- Werkgroep Herziening Cultuurtechnisch Vademecum, 1988. *Cultuurtechnisch Vademecum*. Cultuurtechnische vereniging, Utrecht.
- Wösten, J.H.M., F. de Vries, J. Denneboom en A.F. van Holst, 1988. *Generalisatie en bodemfysische vertaling van de bodemkaart van Nederland, 1 : 250 000, ten behoeve van de PAWN-studie*. Rapport 2055, Stiboka. Wageningen.
- Zagwijn, W.H. en C.J. van Staalduinen, 1975. *Toelichting bij de geologische overzichtskaart van Nederland*. RGD, Haarlem.

Bijlage 1 Stratumindeling

Tabel 12 Indeling in deelgebieden binnen Waterschap De Dongestroom. Per deelgebied is aangegeven hoeveel waarnemingen van de GxG er binnen dat stratum binnen het waterschap zijn gedaan, en hoeveel er totaal binnen dat stratum zijn gedaan. Een stratum kan over meerdere waterschappen verspreid liggen.

Nr	Locatie	Geohydrologische hoofdeenheid	Omschrijving (cijfercodes verwijzen naar Tabel 12)	ha	Waarnemingen	
					De Dongestroom	Totaal
1	Loonsche en Drunensche Duinen	Centrale Slenk	Stuifzand/natuur (406)	3284	9	27
3	Kaatsheuvel - Drunen	Centrale Slenk	Overgang naar rivierengebied (406)	2351	7	23
4	Kaatsheuvel - Tilburg	Centrale Slenk	Infiltratie vlakte (406)	5381	38	41
5	Waspik; Kaatsheuvel	Centrale Slenk	Inlaatgebied	1602	20	20
108	Z Goirle - Esbeek	Sterksel zone	Infiltratie; zwak lemige bovengrond; grofzandige ondergrond	2704	0	26
109	Beekdalen Reijen - Riel	Sterksel zone	Beekdalen (502)	1495	18	21
110	Dongen - Gilze - Riel	Sterksel zone	Infiltratiegebied; grofzandig	4015	32	32
123	Geertruidenberg - Den Bosch	Holoceen Maasgebied	Uiterwaarden Maas en zijtakken	1028	3	19
126	Breda - Gilze	Kedichem zone	Infiltratiegebied (703); met enkele lage plekken	1937	2	21
128	Zuid-Oost van Bavel	Kedichem zone	Lemig met stagnatie (704)	892	6	21
129	Chaamsche Bosschen	Kedichem zone	Droge matrix (702 + 703) in bosgebieden	2904	3	25
134	Alphen - Baarle Nassau	Kedichem zone	Droge lemige (enkeerd-)gronden (701)	2303	14	23
135	Aarle - Schalkwinke	Kedichem zone	Vochtige lemige zandgronden (706)	1748	11	20
137	Reijen - Gilze	Sterksel zone	Droge matrix (505)	5692	20	38
138	sGravenmoer - Dongen	Sterksel zone	Matrix (503) en beekvlakte (502)	1901	20	20
160	Hoge Zwaluwe	Overgang Holoceen/Pleistoceen	Overgang met klei op veengronden op zand (901; 902; 903)	3858	0	39
161	Geertruidenberg - Waalwijk	Overgang Holoceen/Pleistoceen	Overgang met veen op zandgronden deels met klei (901; 902; 903; 904)	2863	27	27
162	Raamsdonkveer - Waalwijk	Zeekleigebied	Zavel en lichte klei (1102; 1104)	3466	32	32
504	Berkel-Enschot Molenstraat	Centrale Slenk	Esgronden op leem	2098	2	1309
524	Loon op Zand, Tilburg	Centrale Slenk	Infiltratiegebiede, open ondergrond	335	12	121

Tabel 13 Bodemkundig-hydrologische combinaties in WS De Dongestroom

Cijfercode (Tabel 12)	Betekenis
406	Matrix
502	Beekdal op grof zand
503	Matrix fijn zand
505	Matrix droge gronden
701	Lemige droge zandgronden
702	Matrix droge zandgronden
703	Matrix
704	Matrix met stagnatie
706	Lemig en vochtig
901	Klei op zand
902	KLeidek op veen
903	Klei (> 40 cm) op veen
904	Zanddek op veen
1102	Zavel homogeen
1104	Klei homogeen

Bijlage 2 Tijdreeksmodellen

Tabel 14 Parameters van gekalibreerde tijdreeksmodellen. De tijdreeksmodellen zijn beschreven in sectie 2.4. Voor alle buizen komen de verdampingsgegevens van Eindhoven-Vliegbasis en is de kalibratieperiode van 1/1/1990 t/m 31/12/1999. De GxG zijn berekend uit voor de simulatieperiode van 1/1/1970 t/m 31/12/1999. Per buis zijn de neerslaggegevens van 1/1/1970 t/m 31/12/1999 van het dichtstbijzijnde neerslagstation gebruikt.

De **sd GxG** is de standaardafwijking van de voorspelfout van de GxG in centimeters. Dit getal kan worden gebruikt om een betrouwbaarheidsband om de GxG te schatten: $[GxG - 1,96 * sdGxG ; GxG + 1,96 * sdGxG]$ is het 95% betrouwbaarheidsinterval.

De **μ-duurlijn** en de **s-duurlijn** zijn het gemiddelde respectievelijk de standaardafwijking van 100 reeksen gesimuleerde dagstanden over de klimaatperiode van 30 jaar (1/1/1970 t/m 31/12/1999). Met deze 2 parameers wordt de duurlijn beschreven.

Buis	X	Y	Waterschap	Neerslag-station	d1	? 0	f 1	c	s2a	GHG (cm)	GHG sd (cm)	GVG (cm)	GVG sd (cm)	GLG (cm)	GLG sd (cm)	μ-duur- lijn (cm)	s-duu- lijn (cm)
44EL0020	124680	412840	De Dongestroom	Capelle	0,92720	4,60181	0,95952	-110,05	11,61	81,4	1,1	104,4	1,6	130,2	1,2	105,9	1
44EL0021	129550	412750	De Dongestroom	Capelle	0,90294	8,62088	0,94051	-132,62	28,21	91,0	1,4	125,1	1,9	161,4	1,4	126,9	2
44EL0022	121100	412660	De Dongestroom	Capelle	0,90827	6,80528	0,92834	-127,80	22,94	93,5	1,1	121,5	1,5	151,6	1,1	123,0	1
44GL0019	128590	403890	De Dongestroom	Capelle	0,96665	5,78674	0,97573	-124,44	18,06	71,8	2,3	106,9	2,8	157,1	2,3	114,4	2
44GP7003	129840	411350	De Dongestroom	Capelle	0,96272	2,96369	0,97588	-43,30	7,80	14,7	1,5	35,5	1,8	62,3	1,5	38,6	1
44GP7004	129805	411575	De Dongestroom	Capelle	0,96381	1,22200	0,97068	-63,26	5,27	45,8	0,9	59,6	1,4	76,2	1,0	61,0	1
44GP7005	129650	410990	De Dongestroom	Capelle	0,95691	2,36534	0,97898	-20,27	13,73	10,7	2,0	15,0	2,6	43,8	2,0	16,9	1
44GP7018	126395	410640	De Dongestroom	Capelle	0,90005	2,14173	0,98505	-24,27	5,19	4,6	1,6	22,3	2,1	40,5	1,5	22,7	1
44HP7804	131175	403045	De Dongestroom	Capelle	0,99545	3,32375	0,99259	-218,86	22,39	120,8	6,2	151,8	6,5	229,8	6,0	176,7	5
44HP7811	134325	409530	De Dongestroom	Capelle	0,99560	2,56710	0,99764	-132,24	10,83	51,3	11,6	76,6	11,8	137,9	11,8	96,3	5
50GL0012	127630	386860	De Dongestroom	Chaam	0,97954	2,98994	0,98458	-159,93	9,31	117,6	2,3	140,9	2,7	181,8	2,4	150,1	2

Tabel 15 Regressiefuncties van dagstand naar GxG

Rekenvoorbeeld 1:

Doel-parameter	Welke datums			Meetdatum1	Meetdatum2	Constante	Coëfficiënt bij meetdatum1	Coëfficiënt bij meetdatum2	n	vMSres (cm)
	1	2	beide							
GHG				25-Jan-01	nvt	-12,85	1,013	0	21	15,4

De GHG wordt voorspeld in een lokatie waar 25 januari 2001 een grondwaterstand is gemeten. De vergelijking waarmee de GHG wordt bepaald is geschat met behulp van n=21 DINO-peilbuislokaties waarvan de GHG bekend is uit tijdreeksanalyses en waar tevens op 25 januari tijdens het veldwerk een grondwaterstand is gemeten. De regressievergelijking is:

$$GHG = -12,85 + 1,013 * \text{Meetstand}_{25\text{Januari}}$$

Deze regressievergelijking heeft een vrestvariantie van 15,4 cm. Dit is een gemiddelde kwaliteit voor stambuisregressies. vrestvariantie kan variëren tussen minder dan 10 cm (zeer goed) en meer dan 20 cm (matig). Slechte restvarianties hangen samen met een ongelukkig gekozen tijdstip van de gerichte opname. Bij een kortlopend en zeer arbeidsintensief project zoals de Gd-kartering van geheel Noord-Brabant in 2 jaar is het onvermijdelijk dat sommige tijdstippen minder gelukkig zijn gekozen. De kwaliteit van een GxG-voorspelling wordt als gewicht meegenomen bij de kartering, dwz dat hoge kwaliteit (lage restvariantie) correspondeert met een groot gewicht.

Rekenvoorbeeld 2:

Doel-parameter	Welke datums			Meetdatum1	Meetdatum2	Constante	Coëfficiënt bij meetdatum1	Coëfficiënt bij meetdatum2	n	vMSres (cm)
	1	2	beide							
GHG				25-Jan-01	14-Sep-96	-14,88	0,7360	0,2028	21	13,5

De GHG wordt voorspeld in een lokatie waar zowel op 25 januari 2001 als op 14 september 1996 een meting is verricht. Er was dus al een meting in een eerder onderzoek gedaan. De regressievergelijking is:

$$GHG = -14,88 + 0,7360 * \text{Meetstand}_{25\text{Jan}} + 0,2028 * \text{Meetstand}_{14\text{September}}$$

Deze regressievergelijking is gebaseerd op 21 DINO-buizen waar op beide data de grondwaterstand is gemeten en de GLG uit tijdreeksanalyse is bepaald. De vrestvariantie is 13,5 cm. Dit model, gebaseerd op 2 metingen, is dus beter dan dat van rekenvoorbeeld 1.

Doel- parameter	Welke datums			Meetdatum1	Meetdatum2	Constante	Coëfficiënt bij meetdatum1	Coëfficiënt bij meetdatum2	n	vMSres (cm)
	1	2	beide							
GHG				25-Jan-01	nvt	-12,85	1,013	0	21	15,4
GHG				01-Feb-01	nvt	-15,00	1,028	0	21	13,1
GHG				08-Feb-01	nvt	-1,294	1,185	0	21	13,9
GHG				15-Feb-01	nvt	-11,97	1,073	0	21	14,4
GHG				22-Feb-01	nvt	-11,66	1,023	0	21	15,7
GHG				01-Mar-01	nvt	-11,55	1,001	0	21	15,6
GHG				04-May-01	nvt	-11,99	0,9535	0	21	15,1
GHG				11-May-01	nvt	3,024	0,7725	0	20	16,5
GHG				18-May-01	nvt	4,709	0,7273	0	17	16,8
GHG				30-Jan-95	nvt	16,46	1,181	0	23	23,5
GHG				29-Mar-97	nvt	-11,65	0,7810	0	23	10,7
GHG				09-Aug-01	nvt	-12,97	0,7295	0	21	24,1
GHG				16-Aug-01	nvt	-12,90	0,7217	0	21	24,9
GHG				23-Aug-01	nvt	-11,49	0,6798	0	21	26,2
GHG				30-Aug-01	nvt	-13,73	0,6673	0	23	25,3
GHG				06-Sep-01	nvt	-5,325	0,6948	0	21	27,1
GHG				13-Sep-01	nvt	-4,381	0,7643	0	21	28,1
GHG				19-Sep-01	nvt	5,339	0,8501	0	21	27,3
GHG				29-Aug-94	nvt	-13,11	0,6587	0	23	21,6
GHG				14-Sep-96	nvt	-7,533	0,6196	0	23	21,1
GVG				25-Jan-01	nvt	4,531	1,122	0	21	17,7
GVG				01-Feb-01	nvt	1,954	1,138	0	21	15,7
GVG				08-Feb-01	nvt	18,26	1,282	0	21	20,1
GVG				15-Feb-01	nvt	6,030	1,179	0	21	18,3
GVG				22-Feb-01	nvt	6,497	1,126	0	21	19,1
GVG				01-Mar-01	nvt	6,891	1,101	0	21	19,3
GVG				04-May-01	nvt	4,938	1,064	0	21	16,5
GVG				11-May-01	nvt	22,49	0,8558	0	20	11,1
GVG				18-May-01	nvt	24,49	0,8046	0	17	9,0
GVG				30-Jan-95	nvt	43,50	1,167	0	23	31,4

Doel- parameter	Welke datums			Meetdatum1	Meetdatum2	Constante	Coëfficiënt bij meetdatum1	Coëfficiënt bij meetdatum2	n	vMSres (cm)
	1	2	beide							
GVG				29-Mar-97	nvt	5,283	0,8706	0	23	8,9
GVG				09-Aug-01	nvt	0,2596	0,8403	0	21	20,3
GVG				16-Aug-01	nvt	-0,04707	0,8327	0	21	21,2
GVG				23-Aug-01	nvt	1,383	0,7877	0	21	22,4
GVG				30-Aug-01	nvt	1,239	0,7691	0	23	21,6
GVG				06-Sep-01	nvt	9,438	0,7905	0	21	25,1
GVG				13-Sep-01	nvt	11,71	0,8539	0	21	27,6
GVG				19-Sep-01	nvt	23,60	0,9302	0	21	28,5
GVG				29-Aug-94	nvt	1,668	0,7569	0	23	17,5
GVG				14-Sep-96	nvt	8,879	0,6999	0	23	18,5
GLG				25-Jan-01	nvt	24,40	1,333	0	21	33,5
GLG				01-Feb-01	nvt	22,02	1,346	0	21	32,2
GLG				08-Feb-01	nvt	43,00	1,475	0	21	37,8
GLG				15-Feb-01	nvt	27,69	1,376	0	21	35,7
GLG				22-Feb-01	nvt	27,51	1,323	0	21	36,1
GLG				01-Mar-01	nvt	27,62	1,298	0	21	36,2
GLG				04-May-01	nvt	24,15	1,276	0	21	31,4
GLG				11-May-01	nvt	57,65	0,9380	0	20	21,2
GLG				18-May-01	nvt	56,15	0,9049	0	17	17,5
GLG				30-Jan-95	nvt	72,29	1,318	0	23	47,3
GLG				29-Mar-97	nvt	27,27	1,044	0	23	19,4
GLG				09-Aug-01	nvt	10,86	1,085	0	21	16,8
GLG				16-Aug-01	nvt	10,13	1,078	0	21	16,5
GLG				23-Aug-01	nvt	10,89	1,028	0	21	17,1
GLG				30-Aug-01	nvt	11,35	1,010	0	23	16,6
GLG				06-Sep-01	nvt	19,96	1,044	0	21	20,1
GLG				13-Sep-01	nvt	21,42	1,144	0	21	23,8
GLG				19-Sep-01	nvt	37,92	1,238	0	21	27,3
GLG				29-Aug-94	nvt	14,62	0,9760	0	23	9,5
GLG				14-Sep-96	nvt	24,07	0,9035	0	23	12,0
GHG				25-Jan-01	09-Aug-01	-12,85	1,013	0	21	15,4

Doel- parameter	Welke datums			Meetdatum1	Meetdatum2	Constante	Coëfficiënt bij meetdatum1	Coëfficiënt bij meetdatum2	n	vMSres (cm)
	1	2	beide							
GHG				25-Jan-01	16-Aug-01	-12,85	1,013	0	21	15,4
GHG				25-Jan-01	23-Aug-01	-12,85	1,013	0	21	15,4
GHG				25-Jan-01	30-Aug-01	-12,85	1,013	0	21	15,4
GHG				25-Jan-01	06-Sep-01	-12,85	1,013	0	21	15,4
GHG				25-Jan-01	13-Sep-01	-12,85	1,013	0	21	15,4
GHG				25-Jan-01	19-Sep-01	-12,85	1,013	0	21	15,4
GHG				25-Jan-01	29-Aug-94	-12,85	1,013	0	21	15,4
GHG				25-Jan-01	14-Sep-96	-14,88	0,7360	0,2028	21	13,5
GHG				01-Feb-01	09-Aug-01	-15,00	1,028	0	21	13,1
GHG				01-Feb-01	16-Aug-01	-15,00	1,028	0	21	13,1
GHG				01-Feb-01	23-Aug-01	-15,00	1,028	0	21	13,1
GHG				01-Feb-01	30-Aug-01	-15,00	1,028	0	21	13,1
GHG				01-Feb-01	06-Sep-01	-15,00	1,028	0	21	13,1
GHG				01-Feb-01	13-Sep-01	-15,00	1,028	0	21	13,1
GHG				01-Feb-01	19-Sep-01	-15,00	1,028	0	21	13,1
GHG				01-Feb-01	29-Aug-94	-15,00	1,028	0	21	13,1
GHG				01-Feb-01	14-Sep-96	-15,00	1,028	0	21	13,1
GHG				08-Feb-01	09-Aug-01	-8,464	0,9057	0,2140	21	11,9
GHG				08-Feb-01	16-Aug-01	-8,223	0,9251	0,1997	21	12,2
GHG				08-Feb-01	23-Aug-01	-7,702	0,9500	0,1745	21	12,4
GHG				08-Feb-01	30-Aug-01	-7,224	0,9709	0,1576	21	12,7
GHG				08-Feb-01	06-Sep-01	-6,497	0,9558	0,1790	21	12,3
GHG				08-Feb-01	13-Sep-01	-6,902	0,9543	0,2052	21	11,9
GHG				08-Feb-01	19-Sep-01	-3,830	0,9560	0,2200	21	12,2
GHG				08-Feb-01	29-Aug-94	-7,533	0,9007	0,1914	21	12,1
GHG				08-Feb-01	14-Sep-96	-7,132	0,8625	0,2074	21	11,0
GHG				15-Feb-01	09-Aug-01	-11,97	1,073	0	21	14,4
GHG				15-Feb-01	16-Aug-01	-11,97	1,073	0	21	14,4
GHG				15-Feb-01	23-Aug-01	-11,97	1,073	0	21	14,4
GHG				15-Feb-01	30-Aug-01	-11,97	1,073	0	21	14,4
GHG				15-Feb-01	06-Sep-01	-11,97	1,073	0	21	14,4

Doel- parameter	Welke datums			Meetdatum1	Meetdatum2	Constante	Coëfficiënt bij meetdatum1	Coëfficiënt bij meetdatum2	n	vMSres (cm)
	1	2	beide							
GHG				15-Feb-01	13-Sep-01	-14,89	0,8794	0,1861	21	13,2
GHG				15-Feb-01	19-Sep-01	-12,49	0,8544	0,2322	21	12,6
GHG				15-Feb-01	29-Aug-94	-11,97	1,073	0	21	14,4
GHG				15-Feb-01	14-Sep-96	-14,51	0,7862	0,2006	21	12,2
GHG				22-Feb-01	09-Aug-01	-11,66	1,023	0	21	15,7
GHG				22-Feb-01	16-Aug-01	-11,66	1,023	0	21	15,7
GHG				22-Feb-01	23-Aug-01	-11,66	1,023	0	21	15,7
GHG				22-Feb-01	30-Aug-01	-11,66	1,023	0	21	15,7
GHG				22-Feb-01	06-Sep-01	-11,66	1,023	0	21	15,7
GHG				22-Feb-01	13-Sep-01	-14,87	0,8199	0,2044	21	14,3
GHG				22-Feb-01	19-Sep-01	-12,25	0,7954	0,2534	21	13,7
GHG				22-Feb-01	29-Aug-94	-14,93	0,7703	0,1921	21	14,5
GHG				22-Feb-01	14-Sep-96	-14,51	0,7217	0,2211	21	13,1
GHG				01-Mar-01	09-Aug-01	-11,55	1,001	0	21	15,6
GHG				01-Mar-01	16-Aug-01	-11,55	1,001	0	21	15,6
GHG				01-Mar-01	23-Aug-01	-11,55	1,001	0	21	15,6
GHG				01-Mar-01	30-Aug-01	-11,55	1,001	0	21	15,6
GHG				01-Mar-01	06-Sep-01	-11,55	1,001	0	21	15,6
GHG				01-Mar-01	13-Sep-01	-14,83	0,8015	0,2054	21	14,1
GHG				01-Mar-01	19-Sep-01	-12,22	0,7772	0,2551	21	13,5
GHG				01-Mar-01	29-Aug-94	-14,86	0,7547	0,1914	21	14,4
GHG				01-Mar-01	14-Sep-96	-14,43	0,7081	0,2195	21	13,0
GHG				04-May-01	09-Aug-01	-11,99	0,9535	0	21	15,1
GHG				04-May-01	16-Aug-01	-11,99	0,9535	0	21	15,1
GHG				04-May-01	23-Aug-01	-11,99	0,9535	0	21	15,1
GHG				04-May-01	30-Aug-01	-11,99	0,9535	0	21	15,1
GHG				04-May-01	06-Sep-01	-11,99	0,9535	0	21	15,1
GHG				04-May-01	13-Sep-01	-11,99	0,9535	0	21	15,1
GHG				04-May-01	19-Sep-01	-12,18	0,7692	0,2162	21	13,9
GHG				04-May-01	29-Aug-94	-11,99	0,9535	0	21	15,1
GHG				04-May-01	14-Sep-96	-11,99	0,9535	0	21	15,1

Doel- parameter	Welke datums			Meetdatum1	Meetdatum2	Constante	Coëfficiënt bij meetdatum1	Coëfficiënt bij meetdatum2	n	vMSres (cm)
	1	2	beide							
GHG				11-May-01	09-Aug-01	3,024	0,7725	0	20	16,5
GHG				11-May-01	16-Aug-01	3,024	0,7725	0	20	16,5
GHG				11-May-01	23-Aug-01	3,024	0,7725	0	20	16,5
GHG				11-May-01	30-Aug-01	3,024	0,7725	0	20	16,5
GHG				11-May-01	06-Sep-01	3,024	0,7725	0	20	16,5
GHG				11-May-01	13-Sep-01	3,024	0,7725	0	20	16,5
GHG				11-May-01	19-Sep-01	3,024	0,7725	0	20	16,5
GHG				11-May-01	29-Aug-94	3,024	0,7725	0	20	16,5
GHG				11-May-01	14-Sep-96	3,024	0,7725	0	20	16,5
GHG				18-May-01	09-Aug-01	4,709	0,7273	0	17	16,8
GHG				18-May-01	16-Aug-01	4,709	0,7273	0	17	16,8
GHG				18-May-01	23-Aug-01	4,709	0,7273	0	17	16,8
GHG				18-May-01	30-Aug-01	4,709	0,7273	0	17	16,8
GHG				18-May-01	06-Sep-01	4,709	0,7273	0	17	16,8
GHG				18-May-01	13-Sep-01	4,709	0,7273	0	17	16,8
GHG				18-May-01	19-Sep-01	4,709	0,7273	0	17	16,8
GHG				18-May-01	29-Aug-94	4,709	0,7273	0	17	16,8
GHG				18-May-01	14-Sep-96	4,709	0,7273	0	17	16,8
GHG				30-Jan-95	09-Aug-01	-10,48	0,6754	0,4435	21	13,8
GHG				30-Jan-95	16-Aug-01	-9,816	0,6847	0,4293	21	15,2
GHG				30-Jan-95	23-Aug-01	-9,434	0,7161	0,3969	21	15,2
GHG				30-Jan-95	30-Aug-01	-9,568	0,7385	0,3828	23	13,9
GHG				30-Jan-95	06-Sep-01	-5,414	0,7319	0,3950	21	16,4
GHG				30-Jan-95	13-Sep-01	-4,548	0,7485	0,4232	21	17,3
GHG				30-Jan-95	19-Sep-01	2,255	0,7234	0,4647	21	18,6
GHG				30-Jan-95	29-Aug-94	-8,527	0,6491	0,4014	23	13,2
GHG				30-Jan-95	14-Sep-96	-4,629	0,6277	0,3803	23	13,8
GHG				29-Mar-97	09-Aug-01	-11,65	0,7810	0	23	10,7
GHG				29-Mar-97	16-Aug-01	-11,65	0,7810	0	23	10,7
GHG				29-Mar-97	23-Aug-01	-11,65	0,7810	0	23	10,7
GHG				29-Mar-97	30-Aug-01	-11,65	0,7810	0	23	10,7

Doel- parameter	Welke datums			Meetdatum1	Meetdatum2	Constante	Coëfficiënt bij meetdatum1	Coëfficiënt bij meetdatum2	n	vMSres (cm)
	1	2	beide							
GHG				29-Mar-97	06-Sep-01	-11,65	0,7810	0	23	10,7
GHG				29-Mar-97	13-Sep-01	-11,65	0,7810	0	23	10,7
GHG				29-Mar-97	19-Sep-01	-11,65	0,7810	0	23	10,7
GHG				29-Mar-97	29-Aug-94	-11,65	0,7810	0	23	10,7
GHG				29-Mar-97	14-Sep-96	-11,65	0,7810	0	23	10,7
GVG				25-Jan-01	09-Aug-01	-1,923	0,6738	0,3798	21	14,0
GVG				25-Jan-01	16-Aug-01	-2,733	0,6920	0,3697	21	13,6
GVG				25-Jan-01	23-Aug-01	-2,269	0,7233	0,3300	21	14,0
GVG				25-Jan-01	30-Aug-01	-1,669	0,7580	0,2969	21	14,7
GVG				25-Jan-01	06-Sep-01	-0,01159	0,7771	0,3018	21	14,2
GVG				25-Jan-01	13-Sep-01	0,1177	0,8239	0,2951	21	14,7
GVG				25-Jan-01	19-Sep-01	4,372	0,8661	0,2746	21	15,9
GVG				25-Jan-01	29-Aug-94	-2,071	0,6365	0,3723	21	12,5
GVG				25-Jan-01	14-Sep-96	-0,7614	0,6569	0,3459	21	10,8
GVG				01-Feb-01	09-Aug-01	-2,846	0,7420	0,3313	21	12,9
GVG				01-Feb-01	16-Aug-01	-3,377	0,7581	0,3205	21	12,8
GVG				01-Feb-01	23-Aug-01	-2,962	0,7893	0,2829	21	13,1
GVG				01-Feb-01	30-Aug-01	-2,650	0,8205	0,2549	21	13,5
GVG				01-Feb-01	06-Sep-01	-1,074	0,8380	0,2566	21	13,3
GVG				01-Feb-01	13-Sep-01	-1,132	0,8784	0,2518	21	13,6
GVG				01-Feb-01	19-Sep-01	2,045	0,8982	0,2574	21	13,9
GVG				01-Feb-01	29-Aug-94	-3,013	0,6962	0,3341	21	11,4
GVG				01-Feb-01	14-Sep-96	-1,460	0,7099	0,3101	21	10,5
GVG				08-Feb-01	09-Aug-01	1,842	0,7052	0,4551	21	11,2
GVG				08-Feb-01	16-Aug-01	1,749	0,7259	0,4396	21	11,7
GVG				08-Feb-01	23-Aug-01	2,218	0,7555	0,4036	21	11,8
GVG				08-Feb-01	30-Aug-01	2,801	0,7825	0,3794	21	12,5
GVG				08-Feb-01	06-Sep-01	6,027	0,8151	0,3753	21	13,0
GVG				08-Feb-01	13-Sep-01	6,608	0,8654	0,3800	21	13,8
GVG				08-Feb-01	19-Sep-01	12,78	0,8975	0,3767	21	15,8
GVG				08-Feb-01	29-Aug-94	2,777	0,6740	0,4226	21	11,2

Doel- parameter	Welke datums			Meetdatum1	Meetdatum2	Constante	Coëfficiënt bij meetdatum1	Coëfficiënt bij meetdatum2	n	vMSres (cm)
	1	2	beide							
GVG				08-Feb-01	14-Sep-96	5,428	0,7009	0,3849	21	10,9
GVG				15-Feb-01	09-Aug-01	-2,684	0,6829	0,4119	21	12,5
GVG				15-Feb-01	16-Aug-01	-3,132	0,7044	0,3968	21	12,6
GVG				15-Feb-01	23-Aug-01	-2,612	0,7343	0,3579	21	13,1
GVG				15-Feb-01	30-Aug-01	-2,269	0,7628	0,3319	21	13,6
GVG				15-Feb-01	06-Sep-01	-0,3409	0,7871	0,3357	21	13,1
GVG				15-Feb-01	13-Sep-01	-0,5616	0,8291	0,3428	21	13,2
GVG				15-Feb-01	19-Sep-01	3,990	0,8497	0,3560	21	13,9
GVG				15-Feb-01	29-Aug-94	-2,421	0,6543	0,3913	21	11,3
GVG				15-Feb-01	14-Sep-96	-0,6192	0,6778	0,3596	21	10,1
GVG				22-Feb-01	09-Aug-01	-2,352	0,6327	0,4250	21	13,5
GVG				22-Feb-01	16-Aug-01	-2,898	0,6550	0,4094	21	13,5
GVG				22-Feb-01	23-Aug-01	-2,272	0,6854	0,3679	21	14,1
GVG				22-Feb-01	30-Aug-01	-1,829	0,7149	0,3396	21	14,7
GVG				22-Feb-01	06-Sep-01	-0,09680	0,7384	0,3460	21	13,9
GVG				22-Feb-01	13-Sep-01	-0,3441	0,7804	0,3533	21	14,0
GVG				22-Feb-01	19-Sep-01	4,286	0,7993	0,3692	21	14,6
GVG				22-Feb-01	29-Aug-94	-2,200	0,6055	0,4039	21	12,2
GVG				22-Feb-01	14-Sep-96	-0,5382	0,6321	0,3708	21	10,7
GVG				01-Mar-01	09-Aug-01	-2,039	0,6144	0,4269	21	13,8
GVG				01-Mar-01	16-Aug-01	-2,734	0,6366	0,4125	21	13,6
GVG				01-Mar-01	23-Aug-01	-2,074	0,6665	0,3705	21	14,2
GVG				01-Mar-01	30-Aug-01	-1,705	0,6948	0,3432	21	14,7
GVG				01-Mar-01	06-Sep-01	-0,01518	0,7179	0,3505	21	13,8
GVG				01-Mar-01	13-Sep-01	-0,1955	0,7596	0,3572	21	14,0
GVG				01-Mar-01	19-Sep-01	4,478	0,7778	0,3740	21	14,6
GVG				01-Mar-01	29-Aug-94	-2,095	0,5887	0,4068	21	12,2
GVG				01-Mar-01	14-Sep-96	-0,4201	0,6153	0,3733	21	10,7
GVG				04-May-01	09-Aug-01	-0,7266	0,6807	0,3394	21	13,9
GVG				04-May-01	16-Aug-01	-1,334	0,6956	0,3297	21	13,7
GVG				04-May-01	23-Aug-01	-0,5992	0,7321	0,2845	21	14,2

Doel- parameter	Welke datums			Meetdatum1	Meetdatum2	Constante	Coëfficiënt bij meetdatum1	Coëfficiënt bij meetdatum2	n	vMSres (cm)
	1	2	beide							
GVG				04-May-01	30-Aug-01	-0,3567	0,7595	0,2591	21	14,5
GVG				04-May-01	06-Sep-01	1,007	0,7697	0,2686	21	13,9
GVG				04-May-01	13-Sep-01	0,8708	0,8050	0,2692	21	14,0
GVG				04-May-01	19-Sep-01	3,731	0,8017	0,3091	21	13,3
GVG				04-May-01	29-Aug-94	-1,424	0,6321	0,3490	21	11,9
GVG				04-May-01	14-Sep-96	0,4173	0,6494	0,3197	21	11,3
GVG				11-May-01	09-Aug-01	22,49	0,8558	0	20	11,1
GVG				11-May-01	16-Aug-01	22,49	0,8558	0	20	11,1
GVG				11-May-01	23-Aug-01	22,49	0,8558	0	20	11,1
GVG				11-May-01	30-Aug-01	22,49	0,8558	0	20	11,1
GVG				11-May-01	06-Sep-01	22,49	0,8558	0	20	11,1
GVG				11-May-01	13-Sep-01	22,49	0,8558	0	20	11,1
GVG				11-May-01	19-Sep-01	19,75	0,7520	0,1514	20	10,2
GVG				11-May-01	29-Aug-94	22,49	0,8558	0	20	11,1
GVG				11-May-01	14-Sep-96	22,49	0,8558	0	20	11,1
GVG				18-May-01	09-Aug-01	24,49	0,8046	0	17	9,0
GVG				18-May-01	16-Aug-01	24,49	0,8046	0	17	9,0
GVG				18-May-01	23-Aug-01	24,49	0,8046	0	17	9,0
GVG				18-May-01	30-Aug-01	24,49	0,8046	0	17	9,0
GVG				18-May-01	06-Sep-01	24,49	0,8046	0	17	9,0
GVG				18-May-01	13-Sep-01	24,49	0,8046	0	17	9,0
GVG				18-May-01	19-Sep-01	24,49	0,8046	0	17	9,0
GVG				18-May-01	29-Aug-94	24,49	0,8046	0	17	9,0
GVG				18-May-01	14-Sep-96	24,49	0,8046	0	17	9,0
GVG				30-Jan-95	09-Aug-01	0,3980	0,5352	0,6264	21	12,2
GVG				30-Jan-95	16-Aug-01	0,5770	0,5352	0,6171	21	13,8
GVG				30-Jan-95	23-Aug-01	0,8541	0,5779	0,5745	21	13,4
GVG				30-Jan-95	30-Aug-01	2,391	0,5847	0,5592	23	12,7
GVG				30-Jan-95	06-Sep-01	7,135	0,6069	0,5605	21	16,7
GVG				30-Jan-95	13-Sep-01	9,163	0,6377	0,5867	21	19,4
GVG				30-Jan-95	19-Sep-01	19,18	0,6154	0,6268	21	22,4

Doel- parameter	Welke datums			Meetdatum1	Meetdatum2	Constante	Coëfficiënt bij meetdatum1	Coëfficiënt bij meetdatum2	n	vMSres (cm)
	1	2	beide							
GVG				30-Jan-95	29-Aug-94	3,848	0,4674	0,5800	23	11,7
GVG				30-Jan-95	14-Sep-96	10,16	0,4455	0,5370	23	14,3
GVG				29-Mar-97	09-Aug-01	5,283	0,8706	0	23	8,9
GVG				29-Mar-97	16-Aug-01	5,283	0,8706	0	23	8,9
GVG				29-Mar-97	23-Aug-01	5,283	0,8706	0	23	8,9
GVG				29-Mar-97	30-Aug-01	1,927	0,7346	0,1440	23	8,0
GVG				29-Mar-97	06-Sep-01	5,283	0,8706	0	23	8,9
GVG				29-Mar-97	13-Sep-01	5,283	0,8706	0	23	8,9
GVG				29-Mar-97	19-Sep-01	5,283	0,8706	0	23	8,9
GVG				29-Mar-97	29-Aug-94	2,594	0,7006	0,1650	23	8,1
GVG				29-Mar-97	14-Sep-96	5,283	0,8706	0	23	8,9
GLG				25-Jan-01	09-Aug-01	24,40	0	1,333	21	16,8
GLG				25-Jan-01	16-Aug-01	24,40	0	1,333	21	16,5
GLG				25-Jan-01	23-Aug-01	24,40	0	1,333	21	17,1
GLG				25-Jan-01	30-Aug-01	24,40	0	1,333	23	16,6
GLG				25-Jan-01	06-Sep-01	16,13	0,3654	0,8119	21	18,3
GLG				25-Jan-01	13-Sep-01	15,90	0,4790	0,8110	21	20,6
GLG				25-Jan-01	19-Sep-01	27,35	0,5311	0,8251	21	24,3
GLG				25-Jan-01	29-Aug-94	24,40	0	1,333	23	9,5
GLG				25-Jan-01	14-Sep-96	18,07	0,2122	0,7945	21	10,2
GLG				01-Feb-01	09-Aug-01	22,02	0	1,346	21	16,8
GLG				01-Feb-01	16-Aug-01	22,02	0	1,346	21	16,5
GLG				01-Feb-01	23-Aug-01	22,02	0	1,346	21	17,1
GLG				01-Feb-01	30-Aug-01	22,02	0	1,346	23	16,6
GLG				01-Feb-01	06-Sep-01	16,07	0,3674	0,8067	21	18,6
GLG				01-Feb-01	13-Sep-01	15,53	0,4988	0,7923	21	20,6
GLG				01-Feb-01	19-Sep-01	25,38	0,5883	0,7832	21	23,2
GLG				01-Feb-01	29-Aug-94	22,02	0	1,346	23	9,5
GLG				01-Feb-01	14-Sep-96	18,39	0,1840	0,8080	21	10,7
GLG				08-Feb-01	09-Aug-01	43,00	0	1,475	21	16,8
GLG				08-Feb-01	16-Aug-01	43,00	0	1,475	21	16,5

Doel- parameter	Welke datums			Meetdatum1	Meetdatum2	Constante	Coëfficiënt bij meetdatum1	Coëfficiënt bij meetdatum2	n	vMSres (cm)
	1	2	beide							
GLG				08-Feb-01	23-Aug-01	43,00	0	1,475	21	17,1
GLG				08-Feb-01	30-Aug-01	43,00	0	1,475	23	16,6
GLG				08-Feb-01	06-Sep-01	19,52	0,3842	0,8409	21	18,1
GLG				08-Feb-01	13-Sep-01	20,34	0,4925	0,8599	21	20,4
GLG				08-Feb-01	19-Sep-01	33,33	0,5179	0,9018	21	24,6
GLG				08-Feb-01	29-Aug-94	43,00	0	1,475	23	9,5
GLG				08-Feb-01	14-Sep-96	20,43	0,1549	0,8380	21	10,9
GLG				15-Feb-01	09-Aug-01	27,69	0	1,376	21	16,8
GLG				15-Feb-01	16-Aug-01	27,69	0	1,376	21	16,5
GLG				15-Feb-01	23-Aug-01	27,69	0	1,376	21	17,1
GLG				15-Feb-01	30-Aug-01	27,69	0	1,376	23	16,6
GLG				15-Feb-01	06-Sep-01	16,43	0,3561	0,8330	21	18,4
GLG				15-Feb-01	13-Sep-01	15,94	0,4809	0,8348	21	20,3
GLG				15-Feb-01	19-Sep-01	26,99	0,5486	0,8501	21	23,4
GLG				15-Feb-01	29-Aug-94	27,69	0	1,376	23	9,5
GLG				15-Feb-01	14-Sep-96	18,70	0,1766	0,8194	21	10,6
GLG				22-Feb-01	09-Aug-01	27,51	0	1,323	21	16,8
GLG				22-Feb-01	16-Aug-01	27,51	0	1,323	21	16,5
GLG				22-Feb-01	23-Aug-01	27,51	0	1,323	21	17,1
GLG				22-Feb-01	30-Aug-01	27,51	0	1,323	23	16,6
GLG				22-Feb-01	06-Sep-01	16,39	0,3346	0,8386	21	18,5
GLG				22-Feb-01	13-Sep-01	15,84	0,4562	0,8403	21	20,4
GLG				22-Feb-01	19-Sep-01	26,88	0,5229	0,8557	21	23,4
GLG				22-Feb-01	29-Aug-94	27,51	0	1,323	23	9,5
GLG				22-Feb-01	14-Sep-96	18,52	0,1770	0,8163	21	10,5
GLG				01-Mar-01	09-Aug-01	27,62	0	1,298	21	16,8
GLG				01-Mar-01	16-Aug-01	27,62	0	1,298	21	16,5
GLG				01-Mar-01	23-Aug-01	27,62	0	1,298	21	17,1
GLG				01-Mar-01	30-Aug-01	27,62	0	1,298	23	16,6
GLG				01-Mar-01	06-Sep-01	16,27	0,3349	0,8354	21	18,3
GLG				01-Mar-01	13-Sep-01	15,77	0,4498	0,8399	21	20,3

Doel- parameter	Welke datums			Meetdatum1	Meetdatum2	Constante	Coëfficiënt bij meetdatum1	Coëfficiënt bij meetdatum2	n	vMSres (cm)
	1	2	beide							
GLG				01-Mar-01	19-Sep-01	26,81	0,5146	0,8560	21	23,3
GLG				01-Mar-01	29-Aug-94	27,62	0	1,298	23	9,5
GLG				01-Mar-01	14-Sep-96	18,52	0,1740	0,8162	21	10,5
GLG				04-May-01	09-Aug-01	24,15	0	1,276	21	16,8
GLG				04-May-01	16-Aug-01	24,15	0	1,276	21	16,5
GLG				04-May-01	23-Aug-01	24,15	0	1,276	21	17,1
GLG				04-May-01	30-Aug-01	24,15	0	1,276	23	16,6
GLG				04-May-01	06-Sep-01	16,60	0,3704	0,7899	21	18,3
GLG				04-May-01	13-Sep-01	16,17	0,4977	0,7725	21	20,0
GLG				04-May-01	19-Sep-01	24,91	0,6000	0,7569	21	21,5
GLG				04-May-01	29-Aug-94	24,15	0	1,276	23	9,5
GLG				04-May-01	14-Sep-96	18,71	0,1819	0,8026	21	10,6
GLG				11-May-01	09-Aug-01	46,11	0,05987	0,8085	20	9,4
GLG				11-May-01	16-Aug-01	43,66	0,1507	0,7425	20	9,6
GLG				11-May-01	23-Aug-01	44,97	0,1590	0,6975	20	9,6
GLG				11-May-01	30-Aug-01	46,50	0,1845	0,6594	20	8,9
GLG				11-May-01	06-Sep-01	49,08	0,3421	0,5743	20	10,4
GLG				11-May-01	13-Sep-01	49,12	0,4450	0,5439	20	11,7
GLG				11-May-01	19-Sep-01	51,60	0,5824	0,4857	20	14,4
GLG				11-May-01	29-Aug-94	57,65	0	0,9380	23	9,5
GLG				11-May-01	14-Sep-96	28,24	0,2978	0,6518	20	11,2
GLG				18-May-01	09-Aug-01	46,51	0,1174	0,7475	17	7,3
GLG				18-May-01	16-Aug-01	44,61	0,2308	0,6577	17	7,3
GLG				18-May-01	23-Aug-01	45,92	0,2335	0,6206	17	7,1
GLG				18-May-01	30-Aug-01	47,69	0,2386	0,5982	17	6,3
GLG				18-May-01	06-Sep-01	49,78	0,3986	0,5026	17	8,4
GLG				18-May-01	13-Sep-01	50,06	0,4923	0,4674	17	10,1
GLG				18-May-01	19-Sep-01	52,96	0,6246	0,3855	17	13,6
GLG				18-May-01	29-Aug-94	31,71	0,2205	0,6898	17	6,7
GLG				18-May-01	14-Sep-96	31,39	0,3638	0,5722	17	10,2
GLG				30-Jan-95	09-Aug-01	11,78	0,2432	0,9814	21	15,6

Doel- parameter	Welke datums			Meetdatum1	Meetdatum2	Constante	Coëfficiënt bij meetdatum1	Coëfficiënt bij meetdatum2	n	vMSres (cm)
	1	2	beide							
GLG				30-Jan-95	16-Aug-01	72,29	0	1,318	21	16,5
GLG				30-Jan-95	23-Aug-01	11,71	0,2879	0,9144	21	15,0
GLG				30-Jan-95	30-Aug-01	12,96	0,3041	0,8941	23	14,4
GLG				30-Jan-95	06-Sep-01	19,94	0,3023	0,9214	21	18,4
GLG				30-Jan-95	13-Sep-01	72,29	0	1,318	21	23,8
GLG				30-Jan-95	19-Sep-01	72,29	0	1,318	21	27,3
GLG				30-Jan-95	29-Aug-94	72,29	0	1,318	23	9,5
GLG				30-Jan-95	14-Sep-96	72,29	0	1,318	23	12,0
GLG				29-Mar-97	09-Aug-01	13,61	0,4272	0,6766	21	13,3
GLG				29-Mar-97	16-Aug-01	12,93	0,4282	0,6735	21	12,5
GLG				29-Mar-97	23-Aug-01	13,19	0,4560	0,6210	21	11,8
GLG				29-Mar-97	30-Aug-01	13,86	0,4845	0,5871	23	10,9
GLG				29-Mar-97	06-Sep-01	18,40	0,5266	0,5677	21	13,2
GLG				29-Mar-97	13-Sep-01	19,11	0,6049	0,5412	21	15,2
GLG				29-Mar-97	19-Sep-01	27,27	1,044	0	23	19,4
GLG				29-Mar-97	29-Aug-94	15,56	0,2538	0,7588	23	8,0
GLG				29-Mar-97	14-Sep-96	22,88	0,2995	0,6644	23	10,5

Bijlage 3 Regressiefuncties van AHN+ naar Gd

Tabel 16 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

Rekenvoorbeeld:

MS _{res} (cm ²)	306
Verklaarde variantie (%)	70
Groep 8	GL Goud 0,911
Groep 7	GHGoud
Groep 6	Ondergrondse drainage?
Groep 5	Maaiveld tov NAP
Groep 4	Drooglegging GIS na correctie 0,300
	Drooglegging GIS
Groep 3	Sloot
	Sloot + greppel
Groep 2	Afstand tot drainagemiddel
Groep 1	Rel. maaiv. 500 m -0,445
	Rel. maaiv. 400 m
	Rel. maaiv. 300 m
	Rel. maaiv. 200 m
	Rel. maaiv. 100 m
Constante	-100,6
Doelparameter	GHG
Stratum	15

In stratum 15 wordt de GHG voorspeld met de vergelijking:

$$GHG = -100,6 - 0,445 \cdot \text{Rel.maaiv.300m} + 0,300 \cdot \text{DroogleggingGIS} + 0,911 \cdot \text{GLGoud}$$

Waarbij de Rel.maaiv.300m, DroogleggingGIS en GLGoud voor elke 25x25 m² pixel in dat stratum apart zijn bepaald.

Dit model heeft een verklaarde variantie van 70% en een restvariantie (MS_{res}) van 306 cm².

De verklaarde variantie kan variëren tussen 0% (slecht) en 100% (perfect). Een verklaarde variantie van 0% zou worden bereikt indien binnen het stratum alleen een waarde voor de constante zou worden bepaald, dus als de GHG binnen het gehele stratum gelijk wordt gesteld aan het (gewogen) gemiddelde van de gemeten GHG's binnen dat stratum. Lage verklaarde varianties komen voor, en dat duidt erop dat ook het beste regressiemodel slechts een deel van de gemeten variabiliteit kan verklaren. Indien dat samengaat met een lage waarde van de MS_{res} (bijvoorbeeld <400 cm²) is er desalniettemin een lage onzekerheid (in cm afwijking: v400 = 20 cm). Een lage verklaarde variantie gepaard aan een hoge MS_{res} leidt tot onbetrouwbare kaarten. Dit kan alleen worden verbeterd door de waarnemingsdichtheid drastisch te vergroten.

Erratum: de coëfficiënten bij Groep 1 t/m 8 voor de deelgebieden 501-524 (De Leijen) moeten worden gedeeld door 100. De verklaarde variantie variantie is voor deze deelgebieden abusievelijk niet berekend.

NB: Groep 7a en 8a (winter- respectievelijk zomerpeil van de Maas) is alleen in de strata die direct grenzen aan de Maas (uiterwaarden) als mogelijke verklarende variabele gebruikt.

MS _{res} (cm²)		Verklaarde variantie (%)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
Groep 8a		Rivierpeil-zomer		Groep 7a		Rivierpeil-winter		Groep 8		GL _{Goud}		Groep 7		GH _{Goud}		Ondergrondse drainage		Groep 6		Maai ­ veld tov NAP		Groep 5		Groep 4		Droog ­ legging GIS na correctie		Droog ­ legging GIS		Groep 3		Sloot + greppel		Sloot		Coëfficiënt		Afstand tot drianagemiddel		Groep 2		Coëfficiënt		Rel.maiv.500 m		Rel.maiv.400 m		Rel.maiv.300 m		Rel.maiv.200 m		Rel.maiv.100 m		Constante		Doelparameter		Stratum																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
1	GHG	18	4459																			0,12	0,22																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											</

MS _{res} (cm ²)		Verklaarde variantie (%)																														
Groep 8a		Rivierpeil-zomer	Groep 7a	Rivierpeil-winter	Groep 8	GL _{Goud}	Groep 7	GH _{Goud}	Groep 6	Ondergrondse drainage	Groep 5	Maaveld tov NAP	Groep 4	Drooglegging GIS na correctie	Drooglegging GIS	Groep 3	Sloot	Sloot + greppel	Groep 2	Afstand tot dianagemiddel	Groep 1	Coëfficiënt	Rel.maiv.500 m	Rel.maiv.400 m	Rel.maiv.300 m	Rel.maiv.200 m	Rel.maiv.100 m	Constance	Doelparameter	Stratum		
108	755	19			0,37																									GHG	108	
108	990	65				0,54							0,43																	GLG	108	
108	619	36			0,43				0,33																					GVG	108	
109	266	48							-19,91																						GHG	109
109	282	43								0,90			0,85																		GLG	109
109	327	48							-22,00																						GVG	109
110	1394	45																													GHG	110
110	1616	53								0,77			-0,30																		GLG	110
110	966	49								0,43			-0,34																		GVG	110
123	898	60								0,49																					GHG	123
123	2001	62								0,88																					GLG	123
123	1185	61								0,67																					GVG	123
126	940	30				0,21																									GHG	126
126	1684	32				0,47				0,32																					GLG	126
126	810	33				0,29				0,13																					GVG	126
128	553	76						1,35					0,47																		GHG	128
128	4391	1						1,27																							GLG	128

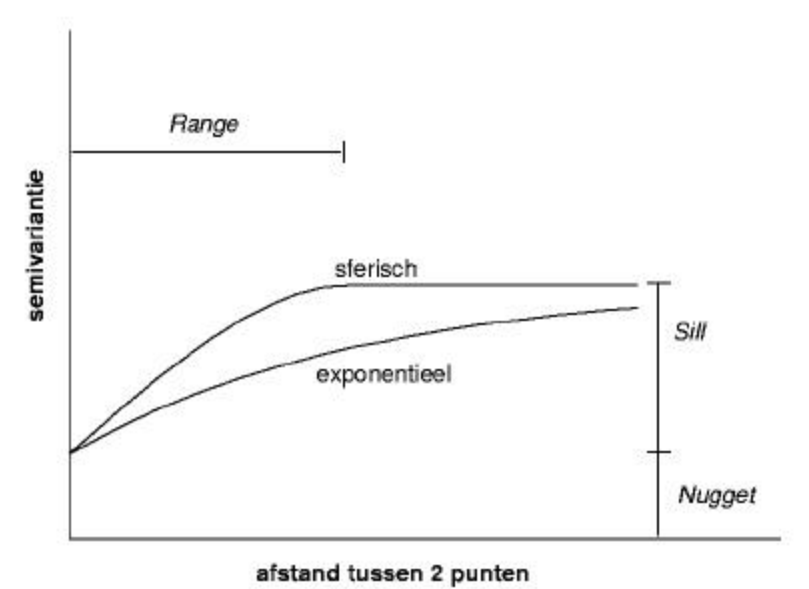
MS _{res} (cm ²)		Verklaarde variantie (%)		Groep 8a	Groep 7a	Groep 8	Groep 7	Groep 6	Groep 5	Groep 4		Groep 3	Groep 2	Groep 1					Doelparameter	Stratum				
				Rivierpeil-zomer	Rivierpeil-winter	GLG _{oud}	GHG _{oud}	Ondergrondse drainage	Maiveld tov NAP	Coefficiënt	Drooglegging GIS na correctie	Drooglegging GIS	Sloot	Sloot + greppel	Afstand tot dijanagemiddel	Coefficiënt	Rel.maiv.500 m	Rel.maiv.400 m	Rel.maiv.300 m	Rel.maiv.200 m	Rel.maiv.100 m	Constante		
128	GVG	27,4					1,49			0,39						-0,83								
129	GHG	-60,4					0,29		0,29	0,59														
129	GLG	329,3								0,69						0,64								
129	GVG	66,4								0,62														
134	GHG	77,7					0,54																	
134	GLG	81,2				0,82									0,29	-1,22								
134	GVG	111,8					0,55																	
135	GHG	67,7					0,83									0,24								
135	GLG	236,3				-0,34										0,37								
135	GVG	67,4					0,55									0,27								
137	GHG	58,0					0,22			0,22					0,44	-0,50								
137	GLG	161,4					0,27			0,13														
137	GVG	83,2					0,22			0,24					0,49	-0,55								
138	GHG	85,6														0,55								
138	GLG	129,1					0,30		0,11							1,12								
138	GVG	103,2														0,70								
160	GHG	20,4					0,44																	

MS _{res} (cm ²)	Verklaarde variantie (%)	Groep 8a	Groep 7a	Groep 8	Groep 7	Groep 6	Groep 5	Groep 4	Groep 3	Groep 2	Groep 1	Doelparameter	Stratum
		Rivierpeil-zomer	Rivierpeil-winter	GLG _{oud}	GHG _{oud}	Ondergrondse drainage	Maaiveld tov NAP	Coefficient Drooglegging GIS na correctie Drooglegging GIS	Coefficient Sloot Sloot + greppel	Afstand tot driagnetmiddel	Coefficient Rel.maaiv.500 m Rel.maaiv.400 m Rel.maaiv.300 m Rel.maaiv.200 m Rel.maaiv.100 m		
483	44				0,86				0,44				160 GLG
404	28				0,55				0,46				160 GVG
359	70			1,61	0,88		-0,35	0,35		0,39	-1,48		161 GHG
472	66			0,92		-35,13		0,69		0,59	-2,24		161 GLG
353	66			0,77	0,73			0,36		0,45	-1,57		161 GVG
413	29			0,18				0,25					162 GHG
487	56							0,51		0,46			162 GLG
406	30			0,39				0,29	0,49		-0,25		162 GVG
917	nb							11,39					504 GHG
875	nb							-20,45			36,41		504 GLG
342	nb						-16,90	11,08		12,39			524 GHG
1142	nb						-42,30	28,92		22,64			524 GLG
127	nb						4,83			4,15	11,14		525 GHG
404	nb						15,42			6,62	16,61		525 GLG

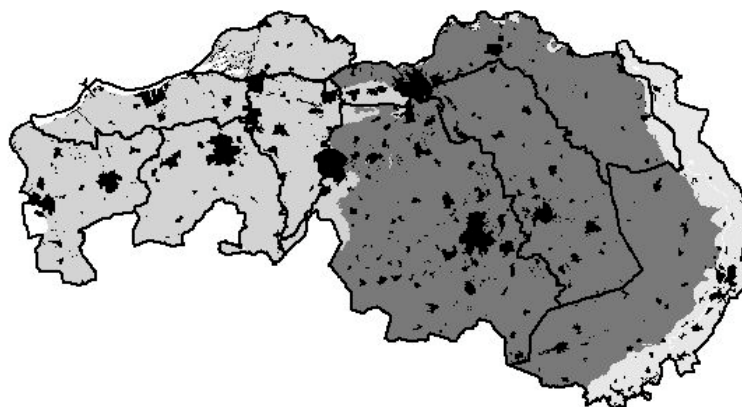
Tabel 17 Variogrammodellen voor kriging op gestandaardiseerde residuen

Variogrammen beschrijven de samenhang tussen de getallen gemeten op twee lokaties als functie van de afstand tussen deze twee lokaties (zie figuur A). Voor de deelgebieden west-Brabant, oost-Brabant en het oostelijk deel van Peel en Maasvallei (figuur B) zijn aparte variogrammen gemaakt omdat deze deelgebieden apart zijn gekarteerd.

Deelgebied	Parameter	Variogram-model	Nugget	Sill	Range (m)
west-Brabant (2001)	GHG	Sferisch	0.82	0.18	1660
west-Brabant (2001)	GVG	Sferisch	0.82	0.18	1080
west-Brabant (2001)	GLG	Sferisch	0.82	0.18	1140
oost-Brabant (2000)	GHG	Sferisch	0.65	0.35	426
oost-Brabant (2000)	GVG	Sferisch	0.65	0.35	624
oost-Brabant (2000)	GLG	Sferisch	0.65	0.35	945



Figuur A



Figuur B

Tabel 18 Voorspellende functies voor de punten van de regimecurve, de duurlijn en de kwelsterkte

Rekenvoorbeeld:

Doelparameter	Geohydrologische hoofdeenheid	Constante	GHG	GVG	GLG	drooglegging
duurlijn: mu	Kedichem/Sterksel	-0,546	0,507	-0,021	0,519	

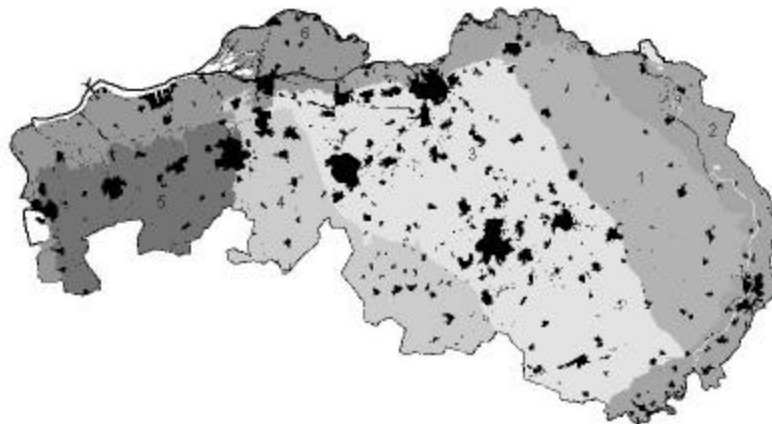
Het gemiddelde van de duurlijn in de geohydrologische hoofdeenheid Kedichem/Sterksel wordt op een lokatie waar de GxG bekend zijn, geschat met de regressievergelijking:

$$\mu = -0,546 + 0,507 \cdot \text{GHG} - 0,021 \cdot \text{GVG} + 0,519 \cdot \text{GLG}$$

De parameters van deze regressielijn zijn geschat door de μ van de duurlijn in DINO-peilbuizen in verband te brengen met de GxG in diezelfde buizen. Hierbij zijn alle DINO-peilbuizen binnen de aangegeven geohydrologische hoofdeenheid gebruikt, waarbij een geslaagde tijdreeksanalyse is uitgevoerd.

De gehanteerde geohydrologische hoofdeenheden zijn (zie Figuur C):

1. Peelhorst
2. Maasterrassen en Holocene Maasdal
3. Centrale Slenk
4. Zone met formaties van Kedichem en Sterksel, inclusief het oerdal van de Mark
5. Zone met Tegelenformatie
6. Rivier- en zeekele gebied en overgang naar Pleistoceen, in het algemeen met beheerst peil



Figuur C

Doelparameter	Geologische hoofdeenheid	Constante	GHG	GVG	GLG	Drooglegging
duurlijn: mu	Kedichem/Sterksel	-0,546	0,507	-0,021	0,519	
duurlijn: sigma	Kedichem/Sterksel	-4,137	-0,080	-0,419	0,551	
gemiddelde 14 jan	Kedichem/Sterksel	-5,266	0,640	0,182	0,227	
gemiddelde 28 jan	Kedichem/Sterksel	-5,267	0,471	0,455	0,120	
gemiddelde 14 feb	Kedichem/Sterksel	-4,044	0,299	0,715	0,022	
gemiddelde 28 feb	Kedichem/Sterksel	-1,224	0,145	0,864	0,006	
gemiddelde 14 mrt	Kedichem/Sterksel	-0,495	0,072	0,949	-0,012	
gemiddelde 28 mrt	Kedichem/Sterksel	-0,621	0,008	1,010	-0,016	
gemiddelde 14 apr	Kedichem/Sterksel	1,121	-0,080	1,042	0,028	

Doelparameter	Geologische hoofdeenheid	Constante	GHG	GVG	GLG	Drooglegging
gemiddelde 28 apr	Kedichem/Sterksel	3,112	-0,148	1,019	0,108	
gemiddelde 14 mei	Kedichem/Sterksel	4,593	-0,095	0,828	0,236	
gemiddelde 28 mei	Kedichem/Sterksel	5,333	-0,041	0,633	0,369	
gemiddelde 14 jun	Kedichem/Sterksel	5,780	0,116	0,316	0,519	
gemiddelde 28 jun	Kedichem/Sterksel	5,672	0,255	0,074	0,628	
gemiddelde 14 jul	Kedichem/Sterksel	5,559	0,358	-0,167	0,763	
gemiddelde 28 jul	Kedichem/Sterksel	2,866	0,479	-0,356	0,848	
gemiddelde 14 aug	Kedichem/Sterksel	5,134	0,646	-0,679	0,994	
gemiddelde 28 aug	Kedichem/Sterksel	2,209	0,786	-0,883	1,076	
gemiddelde 14 sep	Kedichem/Sterksel	-1,338	0,973	-1,061	1,091	
gemiddelde 28 sep	Kedichem/Sterksel	-2,224	1,070	-1,127	1,068	
gemiddelde 14 okt	Kedichem/Sterksel	-3,060	1,149	-1,149	1,017	
gemiddelde 28 okt	Kedichem/Sterksel	-3,232	1,156	-1,073	0,941	
gemiddelde 14 nov	Kedichem/Sterksel	-6,388	1,097	-0,853	0,803	
gemiddelde 28 nov	Kedichem/Sterksel	-7,620	1,053	-0,639	0,647	
gemiddelde 14 dec	Kedichem/Sterksel	-7,280	0,915	-0,354	0,499	
gemiddelde 28 dec	Kedichem/Sterksel	-6,650	0,795	-0,106	0,365	
5% percentiel 14 jan	Kedichem/Sterksel	6,377	1,028	0,336	-0,429	
5% percentiel 28 jan	Kedichem/Sterksel	4,485	0,784	0,742	-0,581	
5% percentiel 14 feb	Kedichem/Sterksel	6,759	0,615	0,971	-0,667	
5% percentiel 28 feb	Kedichem/Sterksel	8,472	0,431	1,132	-0,659	
5% percentiel 14 mrt	Kedichem/Sterksel	10,060	0,329	1,248	-0,693	
5% percentiel 28 mrt	Kedichem/Sterksel	10,050	0,192	1,432	-0,743	
5% percentiel 14 apr	Kedichem/Sterksel	12,330	0,138	1,441	-0,709	
5% percentiel 28 apr	Kedichem/Sterksel	14,430	0,116	1,327	-0,594	
5% percentiel 14 mei	Kedichem/Sterksel	17,310	0,231	1,064	-0,450	
5% percentiel 28 mei	Kedichem/Sterksel	16,810	0,218	0,971	-0,350	
5% percentiel 14 jun	Kedichem/Sterksel	16,800	0,378	0,662	-0,209	
5% percentiel 28 jun	Kedichem/Sterksel	15,890	0,579	0,308	-0,050	
5% percentiel 14 jul	Kedichem/Sterksel	18,040	0,803	-0,131	0,150	
5% percentiel 28 jul	Kedichem/Sterksel	13,160	0,916	-0,274	0,212	
5% percentiel 14 aug	Kedichem/Sterksel	15,460	1,051	-0,510	0,318	
5% percentiel 28 aug	Kedichem/Sterksel	10,090	1,155	-0,693	0,417	
5% percentiel 14 sep	Kedichem/Sterksel	6,870	1,255	-0,746	0,395	
5% percentiel 28 sep	Kedichem/Sterksel	6,491	1,396	-0,850	0,360	
5% percentiel 14 okt	Kedichem/Sterksel	5,910	1,405	-0,783	0,284	
5% percentiel 28 okt	Kedichem/Sterksel	6,040	1,375	-0,603	0,141	
5% percentiel 14 nov	Kedichem/Sterksel	2,939	1,355	-0,462	0,051	
5% percentiel 28 nov	Kedichem/Sterksel	3,140	1,249	-0,190	-0,121	
5% percentiel 14 dec	Kedichem/Sterksel	4,472	1,135	0,050	-0,250	
5% percentiel 28 dec	Kedichem/Sterksel	5,403	1,041	0,236	-0,342	
95% percentiel 14 jan	Kedichem/Sterksel	-20,330	0,341	-0,116	0,962	
95% percentiel 28 jan	Kedichem/Sterksel	-17,740	0,259	0,038	0,872	
95% percentiel 14 feb	Kedichem/Sterksel	-19,180	-0,014	0,479	0,710	
95% percentiel 28 feb	Kedichem/Sterksel	-15,580	-0,152	0,641	0,663	
95% percentiel 14 mrt	Kedichem/Sterksel	-12,680	-0,167	0,595	0,698	
95% percentiel 28 mrt	Kedichem/Sterksel	-11,840	-0,126	0,496	0,750	
95% percentiel 14 apr	Kedichem/Sterksel	-11,500	-0,239	0,554	0,801	
95% percentiel 28 apr	Kedichem/Sterksel	-12,480	-0,416	0,679	0,858	
95% percentiel 14 mei	Kedichem/Sterksel	-10,410	-0,417	0,580	0,943	
95% percentiel 28 mei	Kedichem/Sterksel	-6,600	-0,287	0,285	1,083	
95% percentiel 14 jun	Kedichem/Sterksel	-8,591	-0,132	-0,038	1,265	
95% percentiel 28 jun	Kedichem/Sterksel	-4,370	0,043	-0,359	1,382	
95% percentiel 14 jul	Kedichem/Sterksel	-6,107	0,052	-0,455	1,483	

Doelparameter	Geologische hoofdeenheid	Constante	GHG	GVG	GLG	Drooglegging
95% percentiel 28 jul	Kedichem/Sterksel	-7,121	0,258	-0,798	1,626	
95% percentiel 14 aug	Kedichem/Sterksel	-4,492	0,479	-1,235	1,812	
95% percentiel 28 aug	Kedichem/Sterksel	-8,266	0,626	-1,451	1,909	
95% percentiel 14 sep	Kedichem/Sterksel	-11,580	0,800	-1,526	1,851	
95% percentiel 28 sep	Kedichem/Sterksel	-15,990	0,859	-1,554	1,842	
95% percentiel 14 okt	Kedichem/Sterksel	-15,570	0,988	-1,647	1,804	
95% percentiel 28 okt	Kedichem/Sterksel	-14,550	0,993	-1,582	1,735	
95% percentiel 14 nov	Kedichem/Sterksel	-18,330	0,817	-1,193	1,542	
95% percentiel 28 nov	Kedichem/Sterksel	-20,020	0,860	-1,104	1,425	
95% percentiel 14 dec	Kedichem/Sterksel	-17,950	0,752	-0,839	1,255	
95% percentiel 28 dec	Kedichem/Sterksel	-20,980	0,553	-0,477	1,107	
kwel	Kedichem/Sterksel	-0,855	0,005	0,000	0,000	0,004406
duurlijn: mu	Zeeklei/Rivierklei	-0,442	0,482	0,017	0,502	
duurlijn: sigma	Zeeklei/Rivierklei	-0,300	-0,316	-0,100	0,403	
gemiddelde 14 jan	Zeeklei/Rivierklei	-1,493	0,281	0,508	0,149	
gemiddelde 28 jan	Zeeklei/Rivierklei	-0,408	0,237	0,626	0,080	
gemiddelde 14 feb	Zeeklei/Rivierklei	-0,288	0,128	0,833	-0,001	
gemiddelde 28 feb	Zeeklei/Rivierklei	-0,808	-0,042	1,074	-0,042	
gemiddelde 14 mrt	Zeeklei/Rivierklei	-0,058	0,010	0,992	-0,015	
gemiddelde 28 mrt	Zeeklei/Rivierklei	0,352	0,052	0,932	0,007	
gemiddelde 14 apr	Zeeklei/Rivierklei	-0,314	-0,061	1,074	0,009	
gemiddelde 28 apr	Zeeklei/Rivierklei	-0,274	-0,089	1,049	0,092	
gemiddelde 14 mei	Zeeklei/Rivierklei	-0,407	-0,021	0,880	0,207	
gemiddelde 28 mei	Zeeklei/Rivierklei	-0,439	0,095	0,629	0,349	
gemiddelde 14 jun	Zeeklei/Rivierklei	-0,563	0,237	0,339	0,493	
gemiddelde 28 jun	Zeeklei/Rivierklei	0,337	0,456	-0,048	0,652	
gemiddelde 14 jul	Zeeklei/Rivierklei	-0,018	0,512	-0,213	0,761	
gemiddelde 28 jul	Zeeklei/Rivierklei	-0,040	0,696	-0,508	0,864	
gemiddelde 14 aug	Zeeklei/Rivierklei	-1,514	0,677	-0,553	0,943	
gemiddelde 28 aug	Zeeklei/Rivierklei	-0,164	0,932	-0,950	1,068	
gemiddelde 14 sep	Zeeklei/Rivierklei	1,646	1,233	-1,390	1,153	
gemiddelde 28 sep	Zeeklei/Rivierklei	0,162	1,147	-1,252	1,091	
gemiddelde 14 okt	Zeeklei/Rivierklei	-1,179	1,085	-1,124	1,014	
gemiddelde 28 okt	Zeeklei/Rivierklei	-1,465	1,000	-0,965	0,926	
gemiddelde 14 nov	Zeeklei/Rivierklei	-0,445	0,944	-0,783	0,779	
gemiddelde 28 nov	Zeeklei/Rivierklei	-0,511	0,884	-0,605	0,646	
gemiddelde 14 dec	Zeeklei/Rivierklei	-0,884	0,658	-0,198	0,464	
gemiddelde 28 dec	Zeeklei/Rivierklei	-0,874	0,534	0,051	0,336	
5% percentiel 14 jan	Zeeklei/Rivierklei	-2,214	0,912	0,499	-0,381	
5% percentiel 28 jan	Zeeklei/Rivierklei	0,453	0,863	0,607	-0,469	
5% percentiel 14 feb	Zeeklei/Rivierklei	-1,686	0,780	0,747	-0,484	
5% percentiel 28 feb	Zeeklei/Rivierklei	-1,673	0,514	1,149	-0,586	
5% percentiel 14 mrt	Zeeklei/Rivierklei	0,656	0,607	0,976	-0,547	
5% percentiel 28 mrt	Zeeklei/Rivierklei	-0,710	0,634	0,964	-0,521	
5% percentiel 14 apr	Zeeklei/Rivierklei	-0,587	0,651	0,885	-0,452	
5% percentiel 28 apr	Zeeklei/Rivierklei	-1,488	0,606	0,889	-0,367	
5% percentiel 14 mei	Zeeklei/Rivierklei	-0,590	0,627	0,812	-0,296	
5% percentiel 28 mei	Zeeklei/Rivierklei	0,438	0,738	0,582	-0,187	
5% percentiel 14 jun	Zeeklei/Rivierklei	-0,598	0,786	0,437	-0,098	
5% percentiel 28 jun	Zeeklei/Rivierklei	2,198	1,177	-0,237	0,138	
5% percentiel 14 jul	Zeeklei/Rivierklei	3,078	1,299	-0,528	0,292	
5% percentiel 28 jul	Zeeklei/Rivierklei	0,678	1,417	-0,715	0,380	
5% percentiel 14 aug	Zeeklei/Rivierklei	-0,199	1,346	-0,622	0,389	
5% percentiel 28 aug	Zeeklei/Rivierklei	0,891	1,739	-1,294	0,625	

Doelparameter	Geologische hoofdeenheid	Constante	GHG	GVG	GLG	Drooglegging
5% percentiel 14 sep	Zeeklei/Rivierklei	8,520	2,169	-1,956	0,740	
5% percentiel 28 sep	Zeeklei/Rivierklei	2,962	1,842	-1,424	0,563	
5% percentiel 14 okt	Zeeklei/Rivierklei	-0,622	1,731	-1,206	0,496	
5% percentiel 28 okt	Zeeklei/Rivierklei	-0,910	1,578	-0,966	0,372	
5% percentiel 14 nov	Zeeklei/Rivierklei	0,393	1,504	-0,686	0,169	
5% percentiel 28 nov	Zeeklei/Rivierklei	-1,203	1,395	-0,442	0,044	
5% percentiel 14 dec	Zeeklei/Rivierklei	-1,126	1,224	-0,111	-0,103	
5% percentiel 28 dec	Zeeklei/Rivierklei	-0,497	1,145	0,012	-0,169	
95% percentiel 14 jan	Zeeklei/Rivierklei	-0,433	-0,249	0,375	0,726	
95% percentiel 28 jan	Zeeklei/Rivierklei	0,189	-0,395	0,658	0,596	
95% percentiel 14 feb	Zeeklei/Rivierklei	1,081	-0,471	0,832	0,508	
95% percentiel 28 feb	Zeeklei/Rivierklei	0,797	-0,627	1,061	0,457	
95% percentiel 14 mrt	Zeeklei/Rivierklei	0,848	-0,664	1,103	0,458	
95% percentiel 28 mrt	Zeeklei/Rivierklei	0,887	-0,538	0,886	0,554	
95% percentiel 14 apr	Zeeklei/Rivierklei	1,448	-0,730	1,192	0,479	
95% percentiel 28 apr	Zeeklei/Rivierklei	1,941	-0,749	1,170	0,546	
95% percentiel 14 mei	Zeeklei/Rivierklei	1,570	-0,640	0,936	0,687	
95% percentiel 28 mei	Zeeklei/Rivierklei	-0,097	-0,562	0,718	0,847	
95% percentiel 14 jun	Zeeklei/Rivierklei	0,838	-0,400	0,402	0,995	
95% percentiel 28 jun	Zeeklei/Rivierklei	0,575	-0,246	0,098	1,142	
95% percentiel 14 jul	Zeeklei/Rivierklei	0,447	-0,202	-0,033	1,249	
95% percentiel 28 jul	Zeeklei/Rivierklei	1,129	0,086	-0,509	1,418	
95% percentiel 14 aug	Zeeklei/Rivierklei	-0,439	0,081	-0,601	1,517	
95% percentiel 28 aug	Zeeklei/Rivierklei	0,239	0,334	-0,960	1,623	
95% percentiel 14 sep	Zeeklei/Rivierklei	1,044	0,501	-1,154	1,613	
95% percentiel 28 sep	Zeeklei/Rivierklei	0,177	0,492	-1,171	1,601	
95% percentiel 14 okt	Zeeklei/Rivierklei	-0,845	0,444	-1,093	1,541	
95% percentiel 28 okt	Zeeklei/Rivierklei	-1,187	0,409	-0,997	1,480	
95% percentiel 14 nov	Zeeklei/Rivierklei	-0,053	0,332	-0,813	1,346	
95% percentiel 28 nov	Zeeklei/Rivierklei	0,445	0,323	-0,717	1,224	
95% percentiel 14 dec	Zeeklei/Rivierklei	-1,666	0,077	-0,293	1,049	
95% percentiel 28 dec	Zeeklei/Rivierklei	-0,131	-0,086	0,055	0,862	
kwel	Zeeklei/Rivierklei	-0,572	0,000	0,000	0,000	0,007323
duurlijn: mu	Slenk	-0,418	0,507	-0,022	0,516	
duurlijn: sigma	Slenk	-1,654	-0,233	-0,171	0,434	
gemiddelde 14 jan	Slenk	-15,010	0,251	0,581	0,205	
gemiddelde 28 jan	Slenk	-12,420	0,175	0,757	0,101	
gemiddelde 14 feb	Slenk	-9,419	0,077	0,932	0,015	
gemiddelde 28 feb	Slenk	-4,121	0,021	1,001	-0,008	
gemiddelde 14 mrt	Slenk	-2,995	-0,015	1,027	-0,004	
gemiddelde 28 mrt	Slenk	-1,028	-0,002	1,023	-0,021	
gemiddelde 14 apr	Slenk	4,025	0,017	0,950	0,026	
gemiddelde 28 apr	Slenk	9,119	0,082	0,779	0,124	
gemiddelde 14 mei	Slenk	12,020	0,214	0,510	0,255	
gemiddelde 28 mei	Slenk	13,760	0,326	0,254	0,395	
gemiddelde 14 jun	Slenk	12,530	0,456	-0,024	0,538	
gemiddelde 28 jun	Slenk	13,000	0,578	-0,274	0,662	
gemiddelde 14 jul	Slenk	14,090	0,704	-0,526	0,789	
gemiddelde 28 jul	Slenk	11,130	0,820	-0,712	0,865	
gemiddelde 14 aug	Slenk	12,750	0,948	-0,965	0,993	
gemiddelde 28 aug	Slenk	8,512	1,029	-1,111	1,069	
gemiddelde 14 sep	Slenk	1,974	1,077	-1,168	1,087	
gemiddelde 28 sep	Slenk	-2,189	1,052	-1,114	1,066	
gemiddelde 14 okt	Slenk	-6,363	0,992	-0,973	0,994	

Doelparameter	Geologische hoofdeenheden	Constante	GHG	GVG	GLG	Drooglegging
gemiddelde 28 okt	Slenk	-8,872	0,913	-0,812	0,921	
gemiddelde 14 nov	Slenk	-12,920	0,807	-0,551	0,776	
gemiddelde 28 nov	Slenk	-15,600	0,686	-0,279	0,629	
gemiddelde 14 dec	Slenk	-15,610	0,538	0,031	0,469	
gemiddelde 28 dec	Slenk	-16,050	0,387	0,320	0,331	
5% percentiel 14 jan	Slenk	-3,677	0,991	0,267	-0,282	
5% percentiel 28 jan	Slenk	-3,380	0,855	0,518	-0,397	
5% percentiel 14 feb	Slenk	-0,810	0,804	0,593	-0,431	
5% percentiel 28 feb	Slenk	5,987	0,780	0,603	-0,431	
5% percentiel 14 mrt	Slenk	4,471	0,677	0,685	-0,414	
5% percentiel 28 mrt	Slenk	8,640	0,638	0,824	-0,523	
5% percentiel 14 apr	Slenk	15,350	0,692	0,707	-0,471	
5% percentiel 28 apr	Slenk	21,190	0,787	0,504	-0,369	
5% percentiel 14 mei	Slenk	23,180	0,971	0,122	-0,178	
5% percentiel 28 mei	Slenk	22,310	1,028	-0,068	-0,053	
5% percentiel 14 jun	Slenk	19,090	1,077	-0,228	0,055	
5% percentiel 28 jun	Slenk	19,110	1,305	-0,673	0,263	
5% percentiel 14 jul	Slenk	19,550	1,438	-0,920	0,389	
5% percentiel 28 jul	Slenk	14,270	1,493	-0,955	0,383	
5% percentiel 14 aug	Slenk	20,330	1,685	-1,277	0,514	
5% percentiel 28 aug	Slenk	8,288	1,608	-1,287	0,612	
5% percentiel 14 sep	Slenk	10,770	1,738	-1,352	0,556	
5% percentiel 28 sep	Slenk	5,432	1,668	-1,239	0,523	
5% percentiel 14 okt	Slenk	3,641	1,555	-0,966	0,372	
5% percentiel 28 okt	Slenk	-1,208	1,375	-0,658	0,254	
5% percentiel 14 nov	Slenk	-2,905	1,389	-0,596	0,173	
5% percentiel 28 nov	Slenk	-2,936	1,182	-0,122	-0,074	
5% percentiel 14 dec	Slenk	-0,126	1,130	0,054	-0,201	
5% percentiel 28 dec	Slenk	-0,051	1,000	0,238	-0,269	
95% percentiel 14 jan	Slenk	-26,140	-0,459	0,866	0,693	
95% percentiel 28 jan	Slenk	-23,470	-0,512	1,023	0,589	
95% percentiel 14 feb	Slenk	-21,540	-0,604	1,211	0,487	
95% percentiel 28 feb	Slenk	-16,140	-0,672	1,319	0,434	
95% percentiel 14 mrt	Slenk	-14,770	-0,696	1,316	0,458	
95% percentiel 28 mrt	Slenk	-12,100	-0,616	1,164	0,519	
95% percentiel 14 apr	Slenk	-7,173	-0,578	1,076	0,562	
95% percentiel 28 apr	Slenk	-3,490	-0,543	0,938	0,658	
95% percentiel 14 mei	Slenk	-0,971	-0,442	0,724	0,767	
95% percentiel 28 mei	Slenk	1,620	-0,392	0,547	0,887	
95% percentiel 14 jun	Slenk	2,340	-0,126	0,082	1,083	
95% percentiel 28 jun	Slenk	3,803	0,007	-0,163	1,199	
95% percentiel 14 jul	Slenk	4,398	0,072	-0,360	1,324	
95% percentiel 28 jul	Slenk	2,677	0,274	-0,705	1,472	
95% percentiel 14 aug	Slenk	5,350	0,442	-0,982	1,583	
95% percentiel 28 aug	Slenk	-0,802	0,527	-1,174	1,697	
95% percentiel 14 sep	Slenk	-8,478	0,555	-1,197	1,701	
95% percentiel 28 sep	Slenk	-15,210	0,468	-1,050	1,653	
95% percentiel 14 okt	Slenk	-19,940	0,380	-0,853	1,561	
95% percentiel 28 okt	Slenk	-20,960	0,289	-0,685	1,487	
95% percentiel 14 nov	Slenk	-23,120	0,110	-0,302	1,279	
95% percentiel 28 nov	Slenk	-26,480	0,042	-0,114	1,166	
95% percentiel 14 dec	Slenk	-29,840	-0,174	0,266	1,010	
95% percentiel 28 dec	Slenk	-30,080	-0,318	0,601	0,825	
duurlijn: mu	Maasterrassen	0,328	0,532	-0,050	0,520	

Doelparameter	Geologische hoofdeenheid	Constante	GHG	GVG	GLG	Drooglegging
duurlijn: sigma	Maasterrassen	9,454	0,188	-0,662	0,495	
gemiddelde 14 jan	Maasterrassen	-1,652	1,062	-0,347	0,340	
gemiddelde 28 jan	Maasterrassen	-1,942	0,862	-0,053	0,239	
gemiddelde 14 feb	Maasterrassen	-0,790	0,589	0,343	0,102	
gemiddelde 28 feb	Maasterrassen	0,350	0,260	0,718	0,037	
gemiddelde 14 mrt	Maasterrassen	0,142	0,165	0,823	0,023	
gemiddelde 28 mrt	Maasterrassen	-0,878	0,053	0,953	-0,002	
gemiddelde 14 apr	Maasterrassen	0,624	-0,222	1,229	-0,021	
gemiddelde 28 apr	Maasterrassen	1,776	-0,437	1,372	0,032	
gemiddelde 14 mei	Maasterrassen	1,072	-0,487	1,307	0,139	
gemiddelde 28 mei	Maasterrassen	2,223	-0,482	1,175	0,255	
gemiddelde 14 jun	Maasterrassen	1,345	-0,228	0,769	0,414	
gemiddelde 28 jun	Maasterrassen	-0,143	-0,097	0,489	0,563	
gemiddelde 14 jul	Maasterrassen	1,131	-0,058	0,350	0,658	
gemiddelde 28 jul	Maasterrassen	-0,217	0,218	-0,035	0,778	
gemiddelde 14 aug	Maasterrassen	1,198	0,306	-0,267	0,915	
gemiddelde 28 aug	Maasterrassen	1,655	0,565	-0,607	1,009	
gemiddelde 14 sep	Maasterrassen	0,653	0,953	-1,025	1,065	
gemiddelde 28 sep	Maasterrassen	0,110	1,191	-1,267	1,084	
gemiddelde 14 okt	Maasterrassen	-0,268	1,373	-1,412	1,060	
gemiddelde 28 okt	Maasterrassen	0,284	1,448	-1,425	1,008	
gemiddelde 14 nov	Maasterrassen	-0,429	1,546	-1,403	0,903	
gemiddelde 28 nov	Maasterrassen	-0,290	1,554	-1,268	0,769	
gemiddelde 14 dec	Maasterrassen	-0,006	1,393	-0,950	0,611	
gemiddelde 28 dec	Maasterrassen	-0,545	1,263	-0,682	0,476	
5% percentiel 14 jan	Maasterrassen	-18,930	0,648	0,627	-0,289	
5% percentiel 28 jan	Maasterrassen	-19,730	0,565	0,774	-0,355	
5% percentiel 14 feb	Maasterrassen	-14,830	0,295	1,190	-0,521	
5% percentiel 28 feb	Maasterrassen	-15,730	-0,150	1,677	-0,581	
5% percentiel 14 mrt	Maasterrassen	-15,580	-0,195	1,744	-0,601	
5% percentiel 28 mrt	Maasterrassen	-16,400	-0,492	2,159	-0,727	
5% percentiel 14 apr	Maasterrassen	-15,930	-0,866	2,523	-0,744	
5% percentiel 28 apr	Maasterrassen	-14,760	-0,980	2,516	-0,638	
5% percentiel 14 mei	Maasterrassen	-14,420	-0,958	2,338	-0,498	
5% percentiel 28 mei	Maasterrassen	-11,450	-0,842	2,113	-0,400	
5% percentiel 14 jun	Maasterrassen	-11,780	-0,542	1,684	-0,259	
5% percentiel 28 jun	Maasterrassen	-18,180	-0,264	1,128	0,029	
5% percentiel 14 jul	Maasterrassen	-14,390	-0,354	1,160	0,071	
5% percentiel 28 jul	Maasterrassen	-13,690	-0,058	0,827	0,126	
5% percentiel 14 aug	Maasterrassen	-8,338	0,046	0,608	0,226	
5% percentiel 28 aug	Maasterrassen	-13,180	0,482	0,039	0,398	
5% percentiel 14 sep	Maasterrassen	-8,992	0,568	0,033	0,323	
5% percentiel 28 sep	Maasterrassen	-14,450	0,574	0,071	0,298	
5% percentiel 14 okt	Maasterrassen	-15,030	0,759	-0,042	0,243	
5% percentiel 28 okt	Maasterrassen	-11,450	0,952	-0,089	0,118	
5% percentiel 14 nov	Maasterrassen	-10,510	1,007	-0,029	0,006	
5% percentiel 28 nov	Maasterrassen	-10,070	0,874	0,244	-0,139	
5% percentiel 14 dec	Maasterrassen	-11,060	0,678	0,534	-0,245	
5% percentiel 28 dec	Maasterrassen	-14,840	0,542	0,709	-0,286	
95% percentiel 14 jan	Maasterrassen	11,450	1,497	-1,401	1,034	
95% percentiel 28 jan	Maasterrassen	10,730	1,290	-1,107	0,942	
95% percentiel 14 feb	Maasterrassen	12,490	1,116	-0,792	0,793	
95% percentiel 28 feb	Maasterrassen	15,480	0,820	-0,416	0,690	
95% percentiel 14 mrt	Maasterrassen	15,470	0,691	-0,281	0,681	

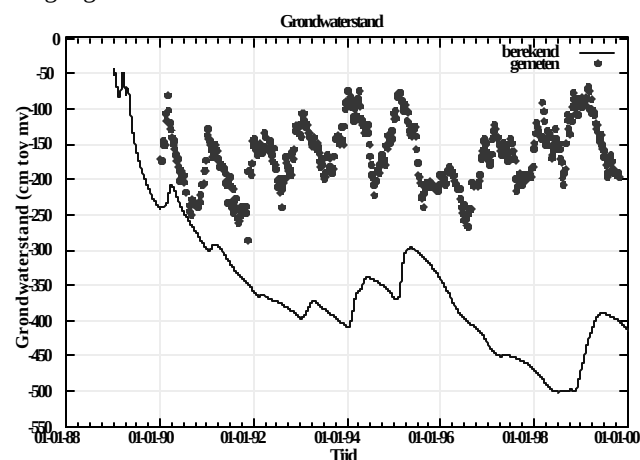
Doelparameter	Geologische hoofdeenheden	Constante	GHG	GVG	GLG	Drooglegging
95% percentiel 28 mrt	Maasterrassen	11,620	0,595	-0,248	0,740	
95% percentiel 14 apr	Maasterrassen	14,820	0,377	-0,035	0,722	
95% percentiel 28 apr	Maasterrassen	16,720	0,185	0,109	0,752	
95% percentiel 14 mei	Maasterrassen	14,570	0,047	0,153	0,838	
95% percentiel 28 mei	Maasterrassen	17,570	0,020	0,093	0,916	
95% percentiel 14 jun	Maasterrassen	15,110	0,254	-0,334	1,115	
95% percentiel 28 jun	Maasterrassen	15,300	0,271	-0,473	1,228	
95% percentiel 14 jul	Maasterrassen	15,210	0,395	-0,737	1,367	
95% percentiel 28 jul	Maasterrassen	14,940	0,660	-1,144	1,508	
95% percentiel 14 aug	Maasterrassen	12,190	0,768	-1,396	1,663	
95% percentiel 28 aug	Maasterrassen	13,590	0,974	-1,689	1,755	
95% percentiel 14 sep	Maasterrassen	14,670	1,402	-2,113	1,772	
95% percentiel 28 sep	Maasterrassen	12,530	1,837	-2,620	1,871	
95% percentiel 14 okt	Maasterrassen	15,690	1,987	-2,660	1,777	
95% percentiel 28 okt	Maasterrassen	13,450	1,906	-2,529	1,732	
95% percentiel 14 nov	Maasterrassen	13,220	1,858	-2,304	1,559	
95% percentiel 28 nov	Maasterrassen	13,470	2,032	-2,394	1,488	
95% percentiel 14 dec	Maasterrassen	10,040	1,906	-2,129	1,364	
95% percentiel 28 dec	Maasterrassen	10,270	1,774	-1,813	1,186	
kwel	Maasterrassen	-0,660	0,004	0,000	0,000	0,00261

Bijlage 4 Kalibratie SWAP voor maatgevende afvoer

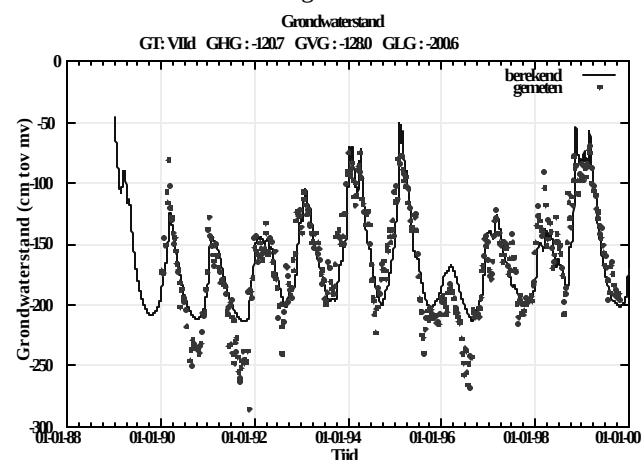
Locatie: punt 1 (droog)

Kalibratie van de onderrand met een shapefactor van 1.0 op een grondwaterstandsreeks

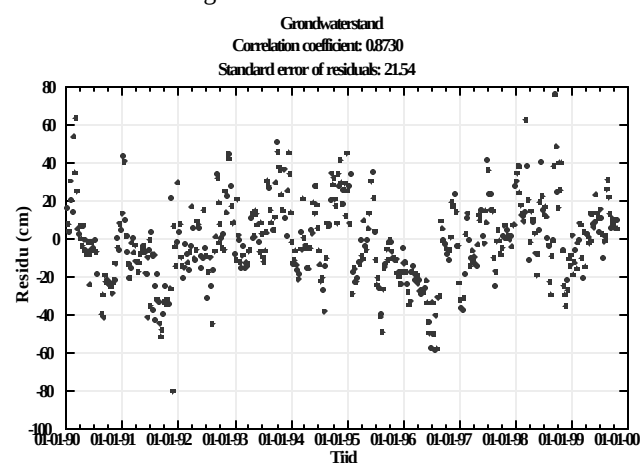
Uitgangsgedaten



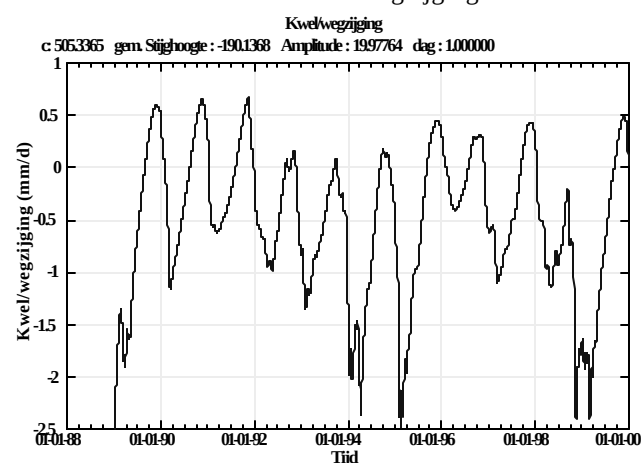
Kalibratieresultaat voor de grondwaterstand



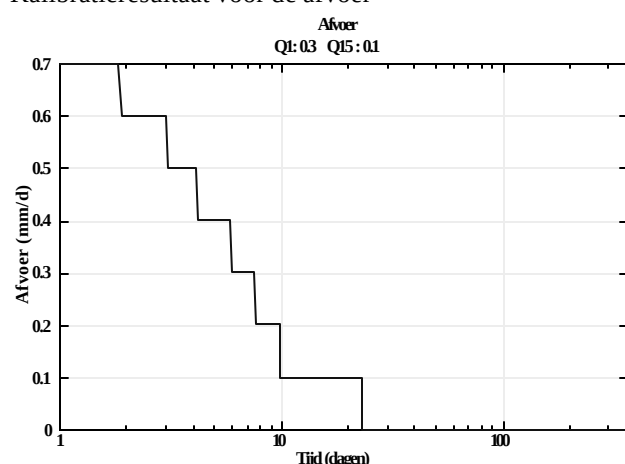
Residuen voor de grondwaterstand



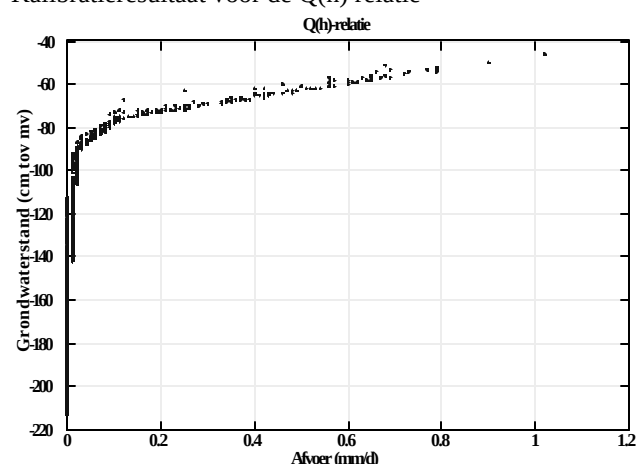
Kalibratieresultaat voor de kwel/wegzijing



Kalibratieresultaat voor de afvoer



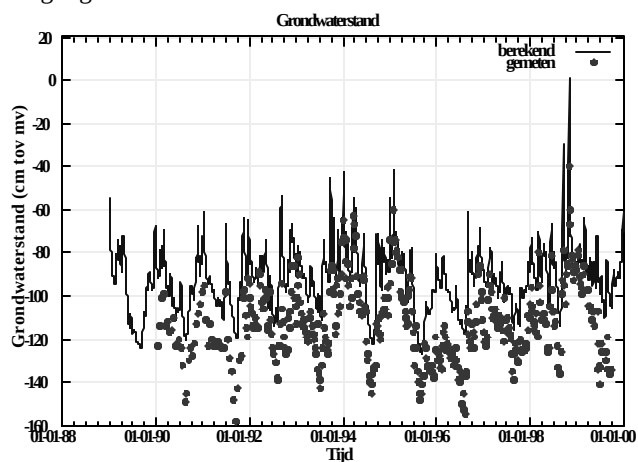
Kalibratieresultaat voor de Q(h) relatie



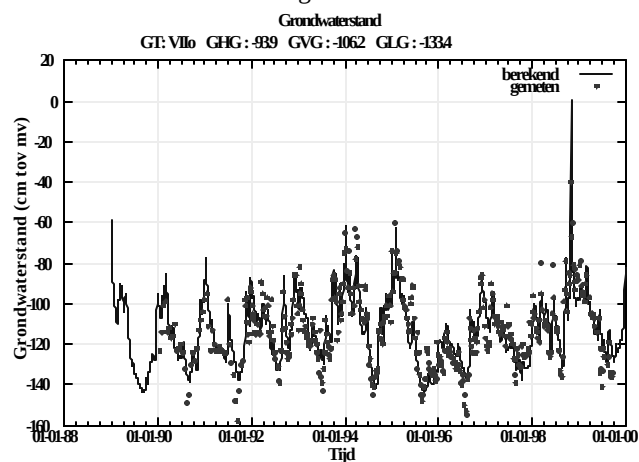
Locatie: punt 2 (gemiddeld)

Kalibratie van de onderrand met een shapefactor van 1.0 op een grondwaterstandsreeks

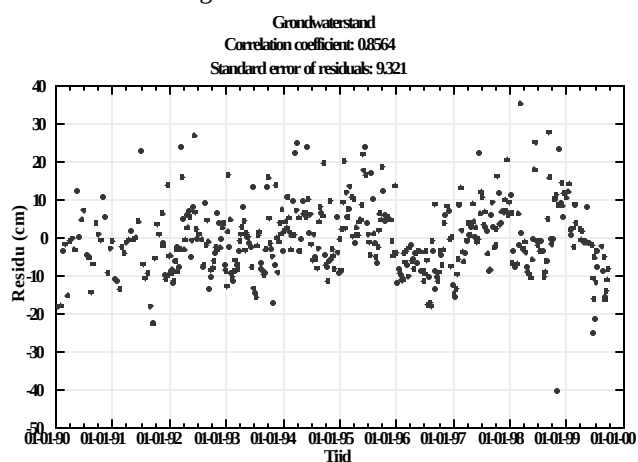
Uitgangsgedata



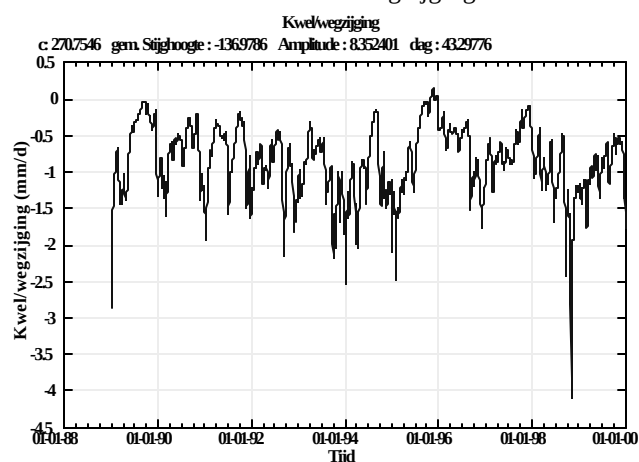
Kalibratieresultaat voor de grondwaterstand



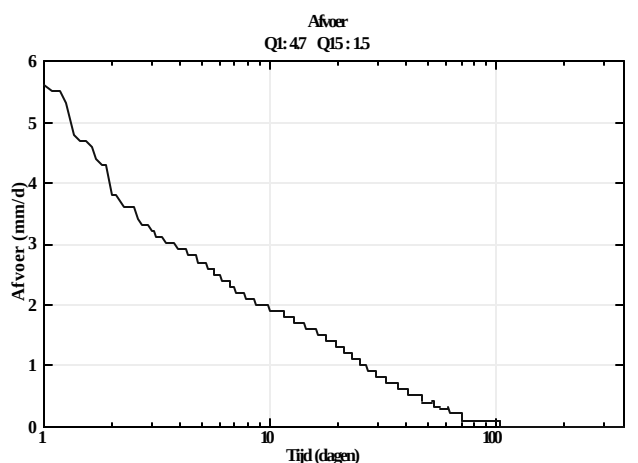
Residuen voor de grondwaterstand



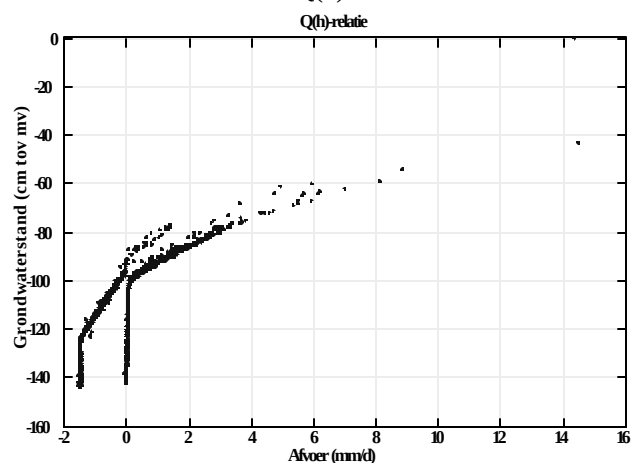
Kalibratieresultaat voor de kwel/wegzijing



Kalibratieresultaat voor de afvoer



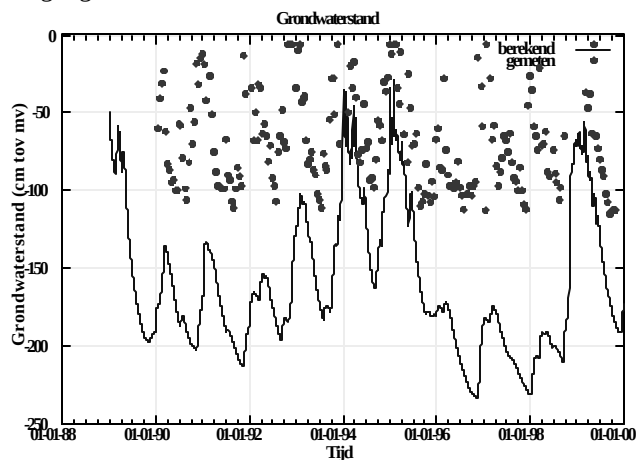
Kalibratieresultaat voor de Q(h) relatie



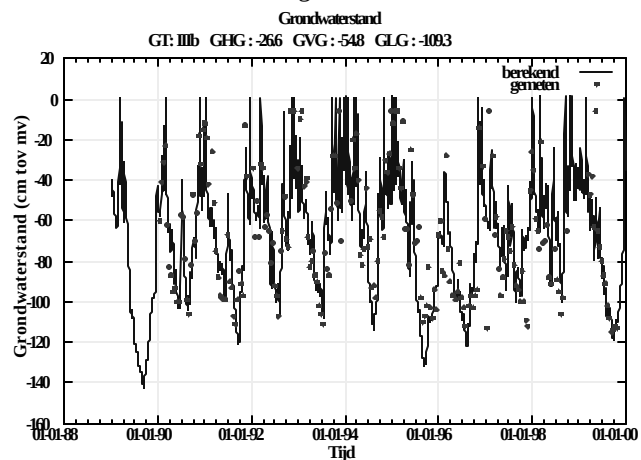
Locatie: punt 3 (nat)

Kalibratie van de onderrand met een shapefactor van 1.0 op een grondwaterstandsreeks

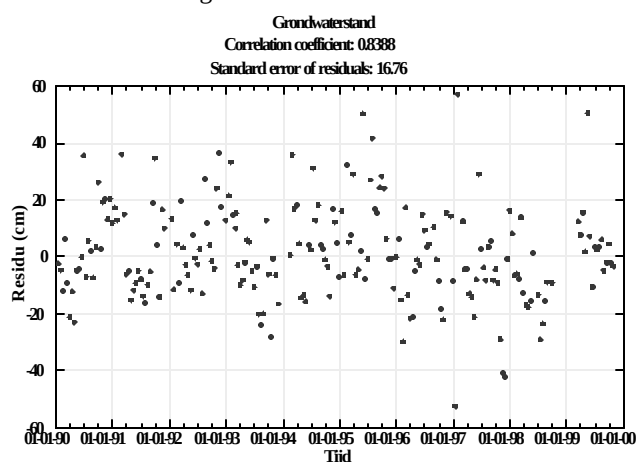
Uitgangsdta



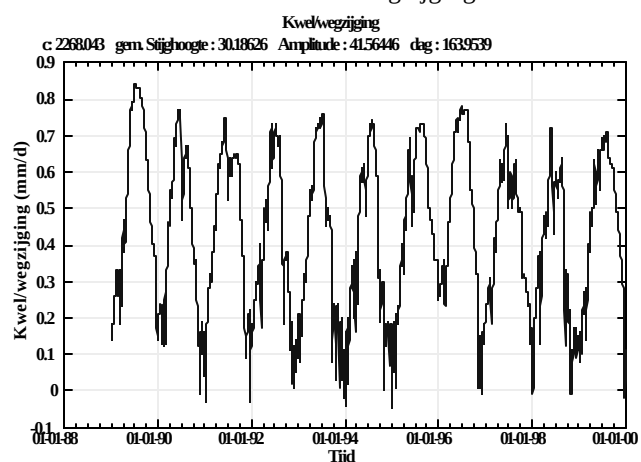
Kalibratieresultaat voor de grondwaterstand



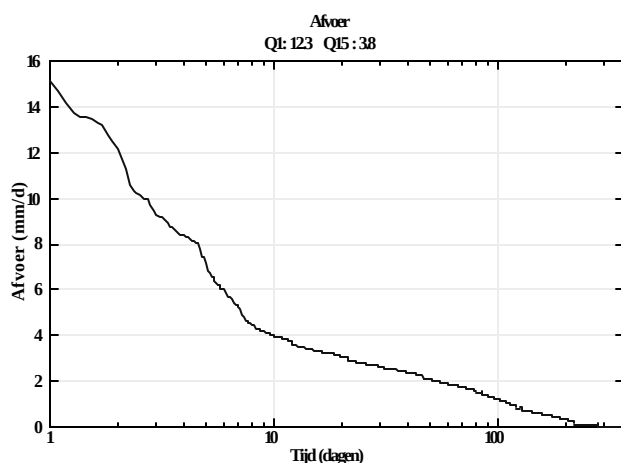
Residuen voor de grondwaterstand



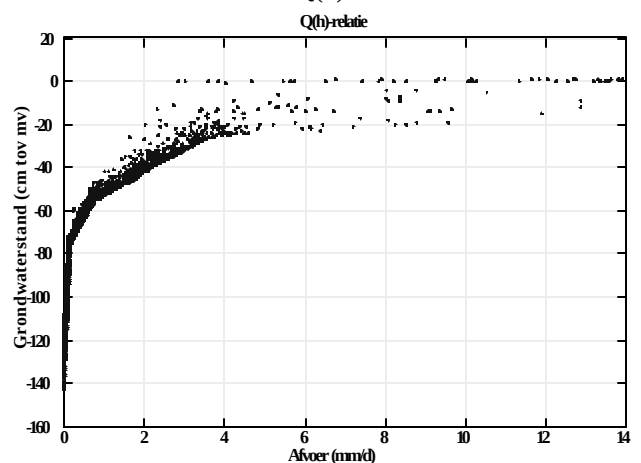
Kalibratieresultaat voor de kwel/wegzijing



Kalibratieresultaat voor de afvoer



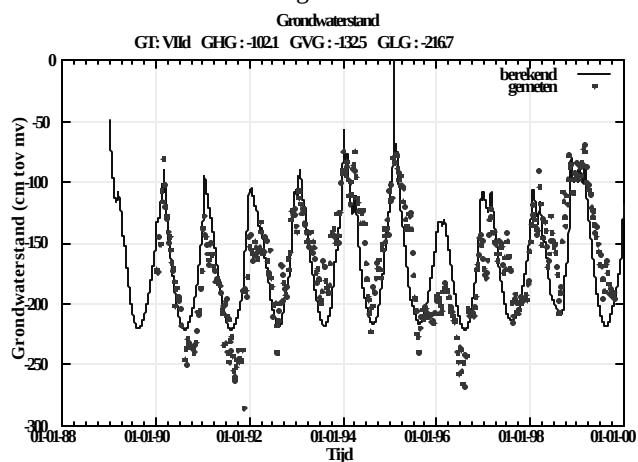
Kalibratieresultaat voor de Q(h) relatie



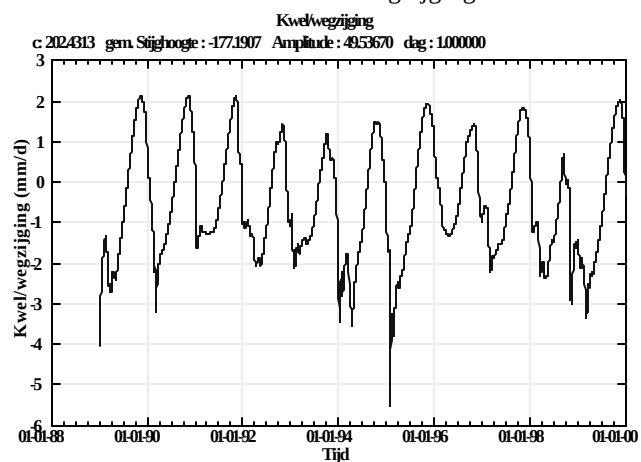
Locatie: punt 1 (droog)

Kalibratie van de onderrand met een shapefactor van 1.0 op de Gt

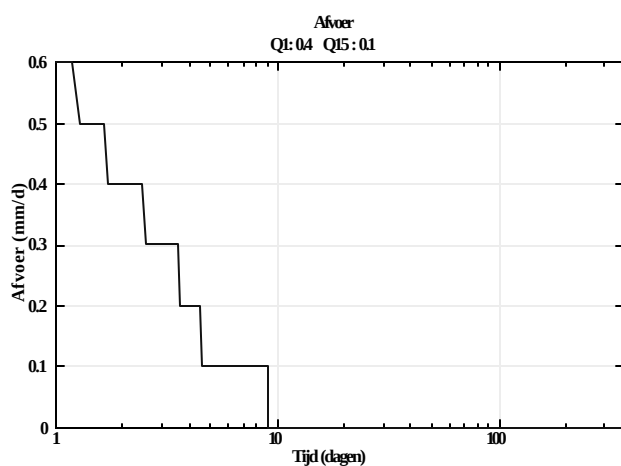
Kalibratieresultaat voor de grondwaterstand



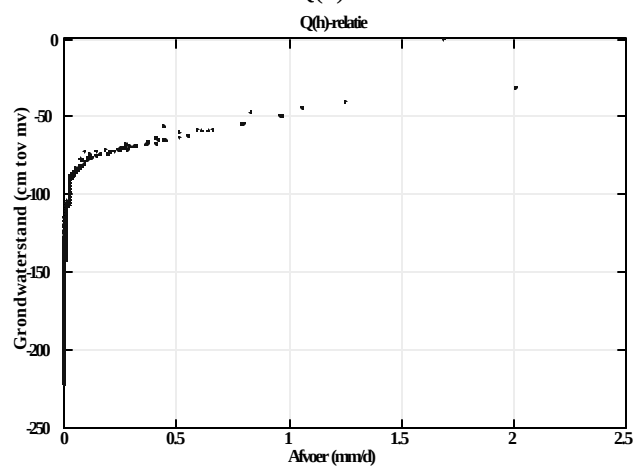
Kalibratieresultaat voor de kwel/wegzijing



Kalibratieresultaat voor de afvoer



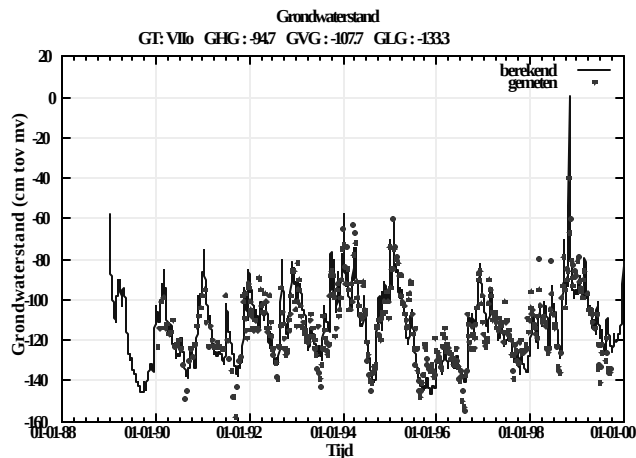
Kalibratieresultaat voor de Q(h) relatie



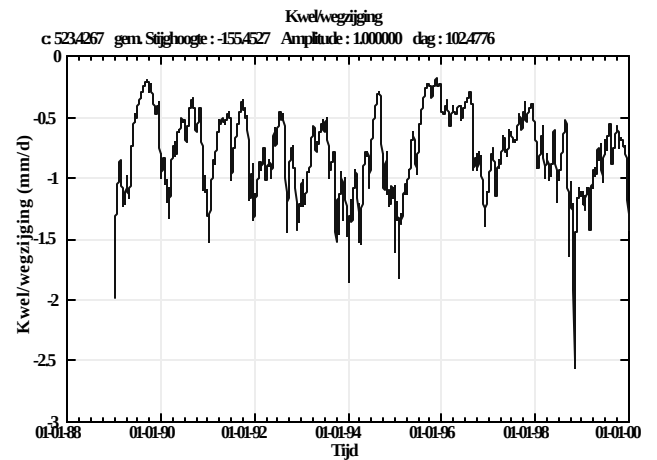
Locatie: punt 2 (gemiddeld)

Kalibratie van de onderrand met een shapefactor van 1.0 op de Gt

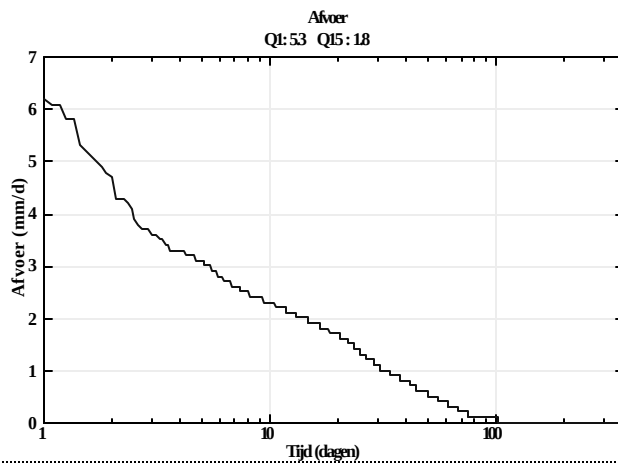
Kalibratieresultaat voor de grondwaterstand



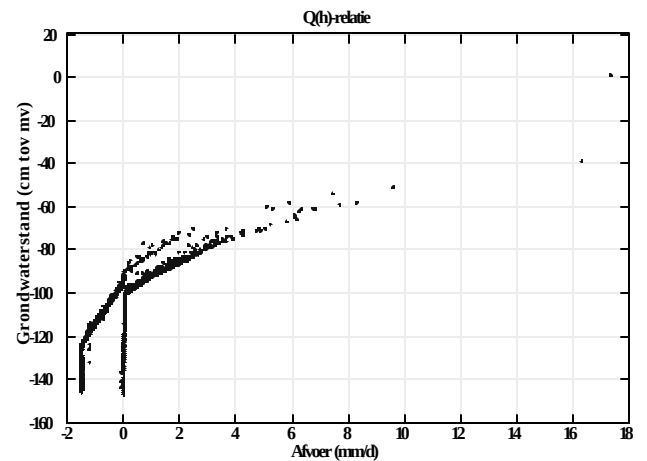
Kalibratieresultaat voor de kwel/wegzijing



Kalibratieresultaat voor de afvoer



Kalibratieresultaat voor de Q(h) relatie

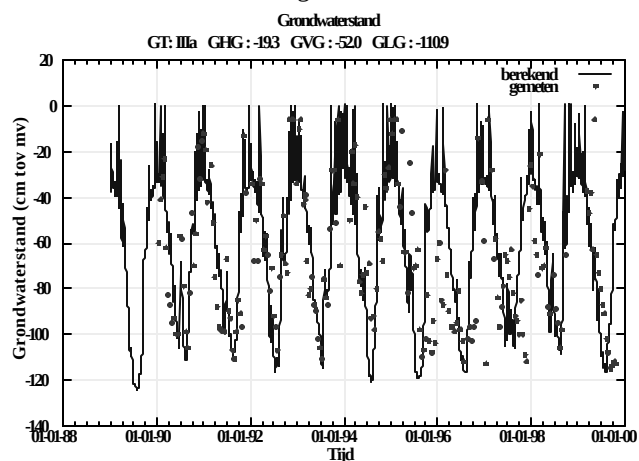


Locatie: punt 3 (nat)

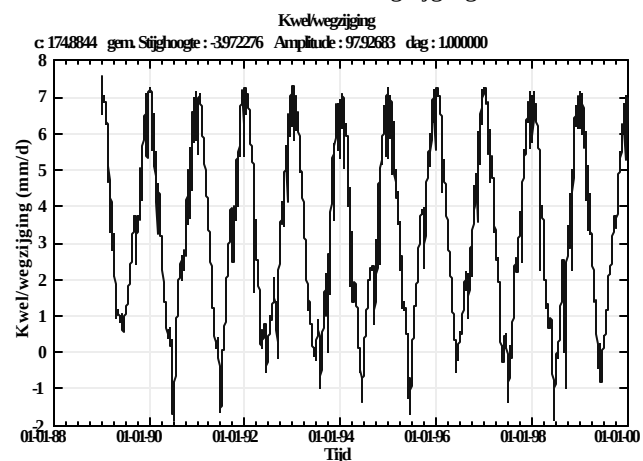
Kalibratie van de onderrand met een shapefactor van 1.0 op de Gt

Opmerking: Buisdrainage

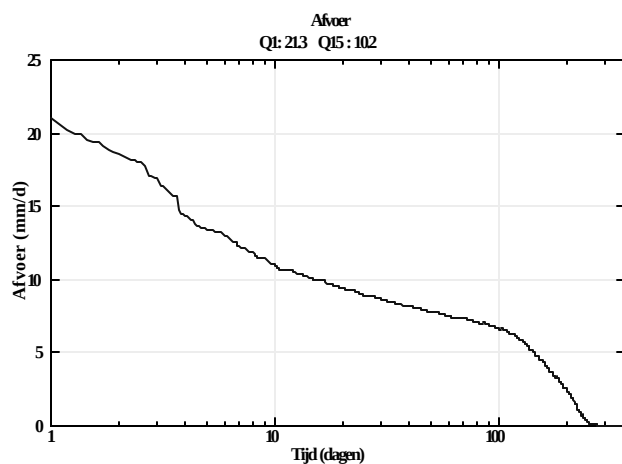
Kalibratieresultaat voor de grondwaterstand



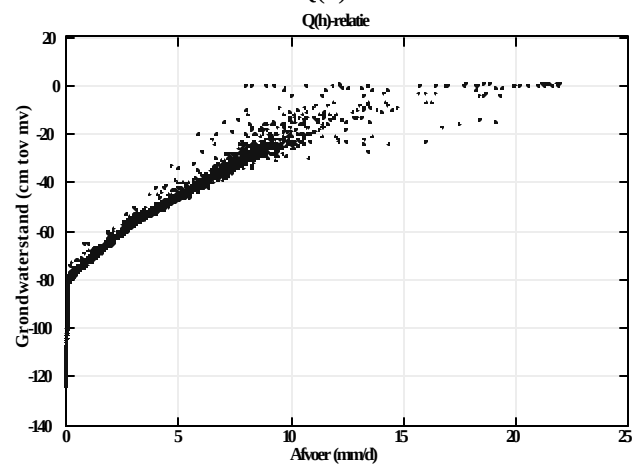
Kalibratieresultaat voor de kwel/wegzijing



Kalibratieresultaat voor de afvoer



Kalibratieresultaat voor de Q(h) relatie

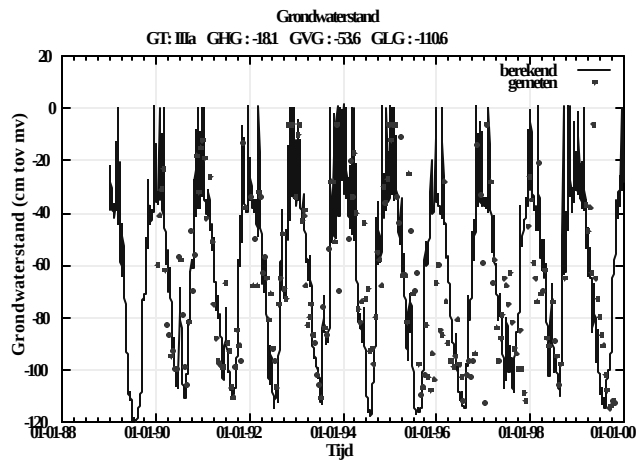


Locatie: punt 3 (nat)

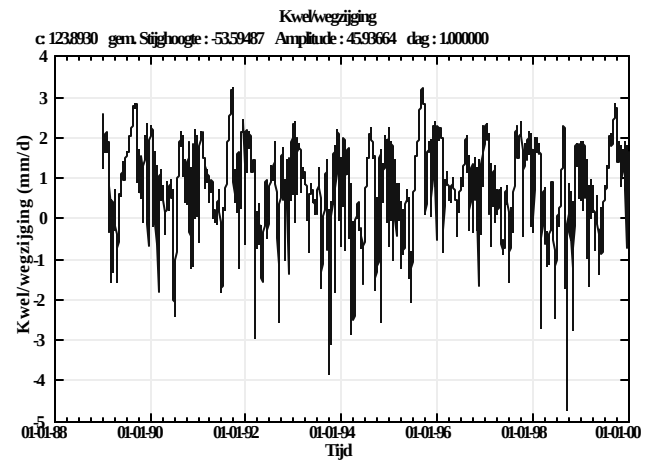
Kalibratie van de onderrand met een shapefactor van 1.0 op de Gt

Opmerking: zonder buisdrainage

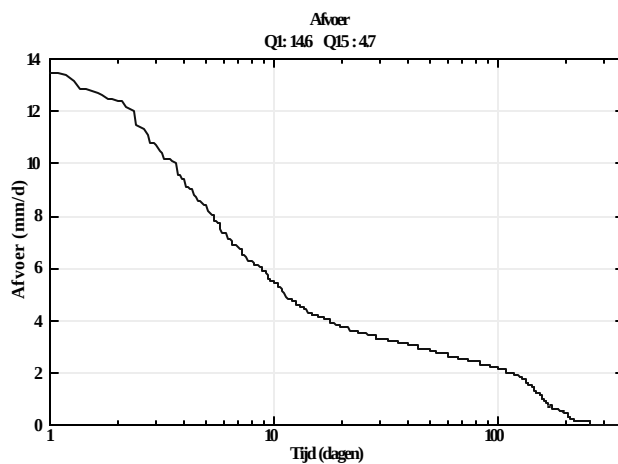
Kalibratieresultaat voor de grondwaterstand



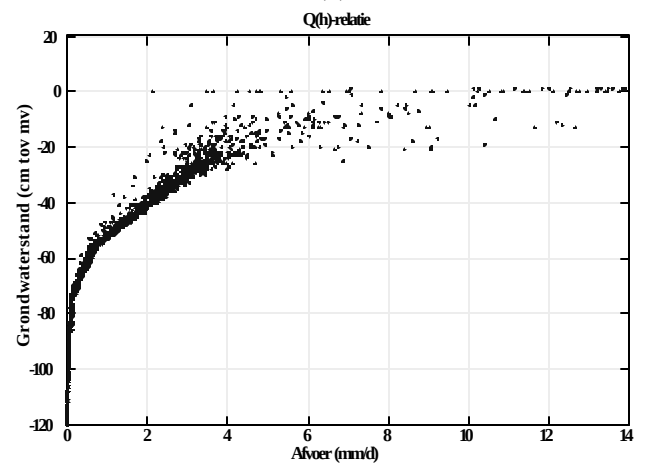
Kalibratieresultaat voor de kwel/wegzijing



Kalibratieresultaat voor de afvoer



Kalibratieresultaat voor de Q(h) relatie



Bijlage 5 Specifieke afvoer

Specifieke afvoer		Hydrotypen													
Bodemtypen	Grondwatertrap	I3	I4	II1	II2	III1	III2	III3a	III3b	III4	III5	IV1	IV2	IV3	Singraven
1 Veengronden met veraarde bovengrond	Ila GHG < 25 GLG 50-80														15.5
	IIlb GHG 25-40 GLG 80-120														12.8
	Vlo GHG 40-80 GLG 120-180														9.4
	VlId GHG 80-140 GLG > 180														5.8
2 Veengronden met veraarde bovengrond op zand	Ila GHG < 25 GLG 50-80	18.8					16.0					16.6			15.1
	IIlb GHG 25-40 GLG 80-120	15.7					10.6					13.3			10.6
	Vlo GHG 40-80 GLG 120-180	11.0					6.1					8.8			6.7
	VlId GHG 80-140 GLG > 180	4.8					1.9					5.2			2.7
3 Veengronden met kleidek	Ila GHG < 25 GLG 50-80		14.7												
	IIlb GHG 25-40 GLG 80-120		12.4												
	Vlo GHG 40-80 GLG 120-180		8.9												
	VlId GHG 80-140 GLG > 180		3.3												
4 Veengronden met kleidek op zand	Ila GHG < 25 GLG 50-80	19.9	15.3							15.1	15.7				
	IIlb GHG 25-40 GLG 80-120	20.9	12.2							11.9	11.7				
	Vlo GHG 40-80 GLG 120-180	13.6	8.3							8.7	8.3				
	VlId GHG 80-140 GLG > 180	5.9	1.5							1.5	1.1				
5 Veengronden met zanddek op zand	Ila GHG < 25 GLG 50-80	19.5						18.0	19.8			19.9			18.1
	IIlb GHG 25-40 GLG 80-120	20.3						13.9	22.0			18.9			14.5
	Vlo GHG 40-80 GLG 120-180	14.8						11.8	16.3			14.4			12.5
	VlId GHG 80-140 GLG > 180	3.7						1.3	4.0			4.4			2.9
7 Stui/zand-gronden	Ila GHG < 25 GLG 50-80	15.4		15.1	15.9		15.3	15.3	15.3			15.5	16.7	16.0	
	IIlb GHG 25-40 GLG 80-120	8.5		10.2	10.9		9.7	9.8	10.4			10.6	10.7	10.7	
	Vlo GHG 40-80 GLG 120-180	1.0		6.2	2.3		0.8	1.1	1.0			2.7	4.4	4.0	
	VlId GHG 80-140 GLG > 180	0.2		0.0	0.8		0.1	0.5	1.2			0.5	2.3	2.7	
8 Podzolgrond in leemarm, fijn zand	Ila GHG < 25 GLG 50-80	15.9		14.8	15.7		15.0	15.7	15.4			14.4			
	IIlb GHG 25-40 GLG 80-120	10.6		10.1	10.1		10.3	10.4	10.5			8.7			
	Vlo GHG 40-80 GLG 120-180	3.9		3.9	5.2		4.1	4.5	5.5			2.9			
	VlId GHG 80-140 GLG > 180	0.6		0.1	0.9		0.3	0.5	1.0			0.5			
9 Podzolgrond in zwak lemig, fijn zand	Ila GHG < 25 GLG 50-80	17.2			17.3		15.1	15.9	16.1	15.0		16.3	17.3	16.0	15.3
	IIlb GHG 25-40 GLG 80-120	11.2			11.5		10.5	10.2	10.4	10.3		11.3	11.9	10.8	10.2
	Vlo GHG 40-80 GLG 120-180	5.0			5.5		2.8	3.0	3.2	4.5		5.2	6.2	5.2	3.2
	VlId GHG 80-140 GLG > 180	1.0			1.8		0.7	0.7	1.3	0.5		2.2	2.8	3.8	1.1
10 Podzolgrond in zwak lemig, fijn zand op grof zand	Ila GHG < 25 GLG 50-80	15.6		16.3	17.2				15.9			17.2	18.2		15.1
	IIlb GHG 25-40 GLG 80-120	10.4		10.5	11.3				10.5			11.3	12.6		10.4
	Vlo GHG 40-80 GLG 120-180	3.1		3.9	5.0				3.9			5.4	7.1		4.4
	VlId GHG 80-140 GLG > 180	0.9		1.2	1.6				1.9			2.0	3.2		0.6
11 Podzolgrond in sterk lemig, fijn zand op keileem of leem	Ila GHG < 25 GLG 50-80	19.5						17.1	16.1						16.6
	IIlb GHG 25-40 GLG 80-120	15.1						12.7	12.9						12.3
	Vlo GHG 40-80 GLG 120-180	7.1						5.2	5.6						5.9
	VlId GHG 80-140 GLG > 180	1.6						1.0	1.3						1.4
12 Enkeerdgrond in zwak lemig, fijn zand	Ila GHG < 25 GLG 50-80	17.2		16.6	16.6		15.3	15.3	15.9			16.3	16.6	16.0	15.8
	IIlb GHG 25-40 GLG 80-120	11.2		11.2	10.9		10.2	11.2	10.6			10.4	10.6	10.5	10.0
	Vlo GHG 40-80 GLG 120-180	5.1		4.7	4.5		4.0	2.7	3.2			3.3	3.6	3.2	4.0
	VlId GHG 80-140 GLG > 180	1.4		1.5	1.4		0.7	1.5	1.3			1.5	1.7	2.0	1.8
13 Beekeerd-grond in sterk lemig, fijn zand	Ila GHG < 25 GLG 50-80	18.2	16.0		18.1		16.4	16.7	17.0			18.4	18.5	17.3	16.5
	IIlb GHG 25-40 GLG 80-120	15.3	11.7		14.1		12.0	12.4	12.6			14.4	15.1	14.2	12.3
	Vlo GHG 40-80 GLG 120-180	7.7	5.9		5.9		7.7	5.6	5.6			7.2	8.4	8.5	7.4
	VlId GHG 80-140 GLG > 180	2.0	0.8		1.9		1.0	1.0	1.9			3.1	3.9	6.1	3.1
14 Podzolgrond in grof zand	Ila GHG < 25 GLG 50-80			14.8	14.6							14.8	14.9	15.4	
	IIlb GHG 25-40 GLG 80-120			9.0	10.1							8.8	9.0	9.7	
	Vlo GHG 40-80 GLG 120-180			1.9	4.4							2.4	3.2	4.4	
	VlId GHG 80-140 GLG > 180			0.4	2.4							1.1	1.7	3.3	
15 Homogene zavelgronden	Ila GHG < 25 GLG 50-80		15.9			17.7					16.0		17.4	17.4	
	IIlb GHG 25-40 GLG 80-120		13.3			15.9					13.2		14.5	15.6	
	Vlo GHG 40-80 GLG 120-180		10.6			14.0					10.0		11.7	12.9	
	VlId GHG 80-140 GLG > 180		3.4			9.7					3.2		4.0	7.2	
16 Homogene, lichte kleigronden	Ila GHG < 25 GLG 50-80		15.2			17.3					16.0			16.8	
	IIlb GHG 25-40 GLG 80-120		13.4			15.7					12.7			14.7	
	Vlo GHG 40-80 GLG 120-180		11.0			13.8					10.4			12.8	
	VlId GHG 80-140 GLG > 180		6.0			8.0					5.8			6.9	
17 Kleigrond, met zware tussenlaag of ondergrond	Ila GHG < 25 GLG 50-80		14.9								14.4			16.4	
	IIlb GHG 25-40 GLG 80-120		12.2								11.5			15.7	
	Vlo GHG 40-80 GLG 120-180		11.0								10.7			15.7	
	VlId GHG 80-140 GLG > 180		10.5								7.5			10.5	
18 Kleigronden op veen	Ila GHG < 25 GLG 50-80		14.2								14.2				
	IIlb GHG 25-40 GLG 80-120		11.5								10.9				
	Vlo GHG 40-80 GLG 120-180		10.2								10.0				
	VlId GHG 80-140 GLG > 180		4.4								4.4				
19 Klei op zandgronden	Ila GHG < 25 GLG 50-80	17.5	16.0					16.8		16.3	16.1		17.5	17.3	16.6
	IIlb GHG 25-40 GLG 80-120	15.7	13.0					13.8		13.1	12.8		15.1	15.5	14.0
	Vlo GHG 40-80 GLG 120-180	12.2	9.8					10.2		9.8	9.2		11.7	12.2	9.9
	VlId GHG 80-140 GLG > 180	3.7	1.6					2.1		1.1	1.1		4.0	4.5	3.1
20 Klei op grof zand	Ila GHG < 25 GLG 50-80										16.0		17.1	17.1	
	IIlb GHG 25-40 GLG 80-120										11.8		13.5	13.2	
	Vlo GHG 40-80 GLG 120-180										11.2		10.1	10.2	
	VlId GHG 80-140 GLG > 180										0.4		2.8	2.0	
21 Leemgronden	Ila GHG < 25 GLG 50-80							17.7							
	IIlb GHG 25-40 GLG 80-120							13.4							

Specifieke afvoer		Hydrotypen													
Bodemtypen	Grondwatertrap	I3	I4	II1	II2	III1	III2	III3a	III3b	III4	III5	IV1	IV2	IV3	Singraven
	Vlo GHG 40-80 GLG 120-180							5.1							
	VlId GHG 80-140 GLG > 180							5.4							

Specifieke afvoer (drainage)

Specifieke afvoer (drainage)		Hydrotypen													
Bodemtypen	Grondwatertrap	I3	I4	II1	II2	III1	III2	III3a	III3b	III4	III5	IV1	IV2	IV3	Singraven
1 Veengronden met veraarde bovengrond	IIIb GHG 25-40 GLG 80-120														17.0
	IVu GHG 40-80 GLG 80-120														14.3
	Vlo GHG 40-80 GLG 120-180														13.3
2 Veengronden met veraarde bovengrond op zand	IIIb GHG 25-40 GLG 80-120	20.7					14.3					17.4			14.8
	IVu GHG 40-80 GLG 80-120	16.1					10.4					13.6			11.1
	Vlo GHG 40-80 GLG 120-180	14.4					9.6					13.1			9.7
3 Veengronden met kleidek	IIIb GHG 25-40 GLG 80-120		16.7												
	IVu GHG 40-80 GLG 80-120		13.5												
	Vlo GHG 40-80 GLG 120-180		10.9												
4 Veengronden met kleidek op zand	IIIb GHG 25-40 GLG 80-120	26.1	17.8							17.2	17.3				
	IVu GHG 40-80 GLG 80-120	19.2	13.9							13.4	13.7				
	Vlo GHG 40-80 GLG 120-180	17.0	10.9							10.6	10.6				
5 Veengronden met zanddek op zand	IIIb GHG 25-40 GLG 80-120	29.2						22.9	30.5			28.0			23.5
	IVu GHG 40-80 GLG 80-120	26.4						18.3	28.6			25.0			18.6
	Vlo GHG 40-80 GLG 120-180	21.7						15.4	24.1			21.0			17.0
7 Stuijfzand-gronden	IIIb GHG 25-40 GLG 80-120	13.0		12.6	14.1		12.8	12.8	13.4			13.4	15.7	15.3	
	IVu GHG 40-80 GLG 80-120	6.7		6.4	7.6		6.6	6.5	7.2			7.1	9.4	8.9	
	Vlo GHG 40-80 GLG 120-180	5.8		5.5	6.8		5.7	5.7	6.7			6.2	8.8	8.6	
8 Podzolgrond in leemarm, fijn zand	IIIb GHG 25-40 GLG 80-120	13.3		12.3	13.3		12.4	12.6	12.7			13.3			
	IVu GHG 40-80 GLG 80-120	7.8		6.9	7.9		7.0	7.0	7.6			7.7			
	Vlo GHG 40-80 GLG 120-180	6.9		6.0	7.1		6.1	6.2	6.9			6.8			
9 Podzolgrond in zwak lemig, fijn zand	IIIb GHG 25-40 GLG 80-120	15.6			15.8		13.2	13.3	14.1	12.8		15.6	16.4	15.1	13.2
	IVu GHG 40-80 GLG 80-120	10.5			10.8		7.9	7.9	8.7	7.4		10.4	11.4	9.9	8.2
	Vlo GHG 40-80 GLG 120-180	9.0			9.5		7.0	7.0	7.7	6.6		9.4	10.3	9.6	7.3
10 Podzolgrond in zwak lemig, fijn zand op grof zand	IIIb GHG 25-40 GLG 80-120	13.4		15.3	15.6			14.7				16.0	17.1		12.9
	IVu GHG 40-80 GLG 80-120	8.0		9.3	10.5			9.1				10.8	12.1		7.6
	Vlo GHG 40-80 GLG 120-180	7.2		8.2	9.1			8.4				9.6	11.0		6.8
11 Podzolgrond in sterk lemig, fijn zand op keileem of leem	IIIb GHG 25-40 GLG 80-120	19.7						16.2	16.3						15.4
	IVu GHG 40-80 GLG 80-120	12.8						9.9	10.0						9.7
	Vlo GHG 40-80 GLG 120-180	10.8						8.4	8.6						8.2
12 Enkeerdgrond in zwak lemig, fijn zand	IIIb GHG 25-40 GLG 80-120	15.6		15.7	15.0		12.8	13.0	13.7			14.4	14.7	13.7	13.7
	IVu GHG 40-80 GLG 80-120	10.6		8.1	10.1		7.6	7.7	8.5			8.8	9.0	8.3	8.9
	Vlo GHG 40-80 GLG 120-180	9.0		8.9	8.7		6.7	6.7	7.7			7.9	8.2	7.8	8.0
13 Beekeerd-grond in sterk lemig, fijn zand	IIIb GHG 25-40 GLG 80-120	20.4	14.6		18.2		15.2	15.7	16.4			19.1	19.8	18.3	16.1
	IVu GHG 40-80 GLG 80-120	13.5	9.3		11.4		9.3	9.8	10.4			12.4	13.4	12.3	11.2
	Vlo GHG 40-80 GLG 120-180	11.6	7.5		9.9		7.9	8.2	9.2			11.1	12.2	12.2	9.8
14 Podzolgrond in grof zand	IIIb GHG 25-40 GLG 80-120			12.8	13.7							13.0	12.9	13.8	
	IVu GHG 40-80 GLG 80-120			7.3	9.0							7.5	7.9	8.8	
	Vlo GHG 40-80 GLG 120-180			6.1	8.3							6.6	7.3	8.4	
15 Homogene zavelgronden	IIIb GHG 25-40 GLG 80-120		17.4			22.2					17.2		19.6	21.0	
	IVu GHG 40-80 GLG 80-120		15.3			20.5					15.0		17.5	18.9	
	Vlo GHG 40-80 GLG 120-180		13.7			18.5					13.5		15.2	17.2	
16 Homogene, lichte kleigronden	IIIb GHG 25-40 GLG 80-120		17.8			21.8					17.2			20.4	
	IVu GHG 40-80 GLG 80-120		17.0			20.7					16.9			19.8	
	Vlo GHG 40-80 GLG 120-180		16.7			20.5					16.2			18.8	
17 Kleigrond, met zware tussenlaag of ondergrond	IIIb GHG 25-40 GLG 80-120		17.2								17.0			21.2	
	IVu GHG 40-80 GLG 80-120		14.4								14.0			17.6	
	Vlo GHG 40-80 GLG 120-180		14.2								13.9			18.0	
18 Kleigronden op veen	IIIb GHG 25-40 GLG 80-120		17.2								16.9				
	IVu GHG 40-80 GLG 80-120		14.1								14.1				
	Vlo GHG 40-80 GLG 120-180		13.8								13.4				
19 Klei op zandgronden	IIIb GHG 25-40 GLG 80-120	22.2	17.9					19.7		17.7	17.7		21.6	21.9	19.1
	IVu GHG 40-80 GLG 80-120	20.9	16.7					18.6		17.0	16.4		20.3	20.8	17.5
	Vlo GHG 40-80 GLG 120-180	17.1	13.3					14.3		13.5	13.4		16.5	17.3	14.3
20 Klei op grof zand	IIIb GHG 25-40 GLG 80-120										17.5		19.7	19.5	
	IVu GHG 40-80 GLG 80-120										14.6		17.6	16.9	
	Vlo GHG 40-80 GLG 120-180										10.5		12.9	13.0	
21 Leemgronden	IIIb GHG 25-40 GLG 80-120							19.0							
	IVu GHG 40-80 GLG 80-120							17.3							
	Vlo GHG 40-80 GLG 120-180							14.8							

Bijlage 6 Validatie

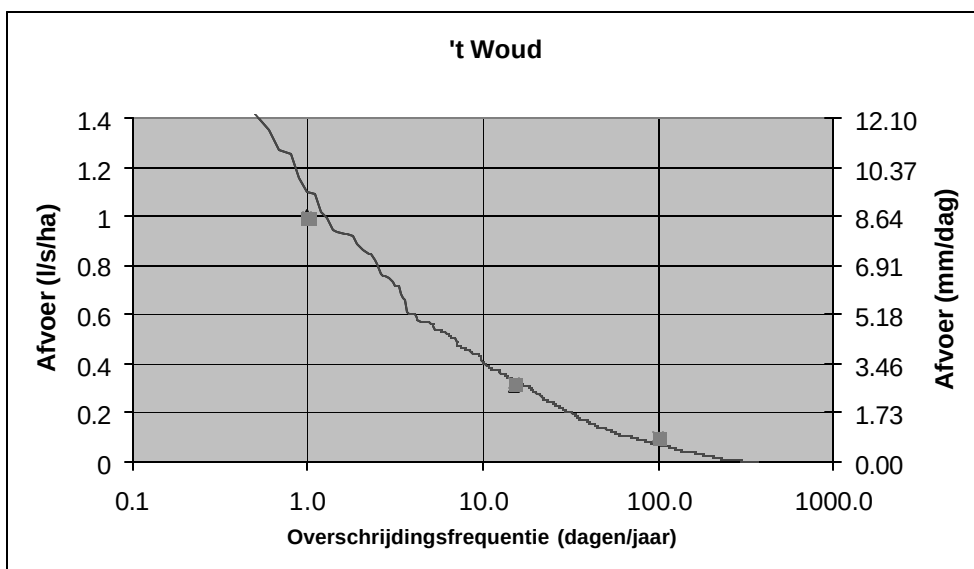
LOCATIE 011

TMX-'t Woud

Waterloop: Schijndelse Loop
 District: Noord
 Kunstwerk: Stuw 3-h
 Soort stuw: Hobrad
 Breedte: 2.92 meter
 Aantal openingen: 1
 Drempelpeil: 4.18 m+NAP
 Maximale stuwstand: 5.20 m+NAP
 Stuwformule: $1,72 \times 2,92 \times (h)^{3/2}$
 Afwaterend oppervlak: 1743 ha
 Maatgevende afvoer: 1.08 l/s/ha
 9.32 mm/d

Analyseresultaten

Overschrijdings-Frequentie	Tijdreeks		Gt-actualisatie	GHG-Kleijer
dagen/jaar	l/s/ha	mm/d	Mm/d	mm/d
1	1.10	9.50	8.74	8.59
1.5	0.94	8.13		
2	0.87	7.51		
15	0.33	2.86	2.67	2.76
100	0.07	0.61	0.89	0.88
300	0.00	0.02		

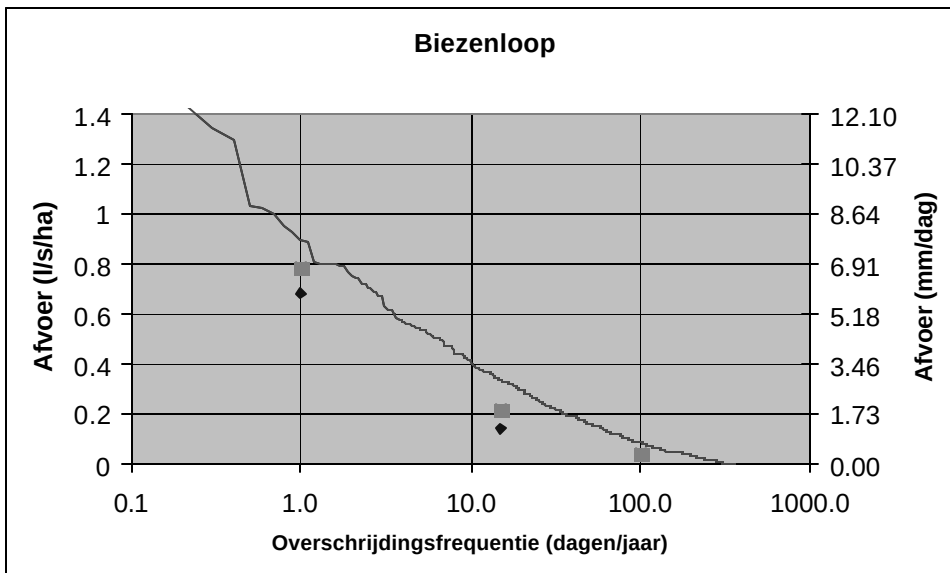


LOCATIE 017
stuw 17-a

Waterloop: Biezenloop
District: Noord
Kunstwerk: Stuw 17-a
Soort stuw: Romijn-Vlugter
Breedte: 5.48 meter
Aantal openingen: 1
Drempelpeil: 5.44 m+NAP
Maximale stuwstand: 6.50 m+NAP
Stuwformule: $1,72 \times 5,48 \times (h)^{3/2}$
Afwaterend oppervlak: 4792 ha
Maatgevende afvoer: 0.93 l/s/ha
8.06 mm/d

Analyseresultaten

Overschrijdings- Frequentie	Tijdreeks		Gt-actualisatie	GHG-Kleijer
dagen/jaar	l/s/ha	mm/d	Mm/d	mm/d
1	0.90	7.79	5.91	6.80
1.5	0.80	6.90		
2	0.75	6.46		
15	0.34	2.93	1.21	1.94
100	0.08	0.73	0.30	0.39
300	0.00	0.04		

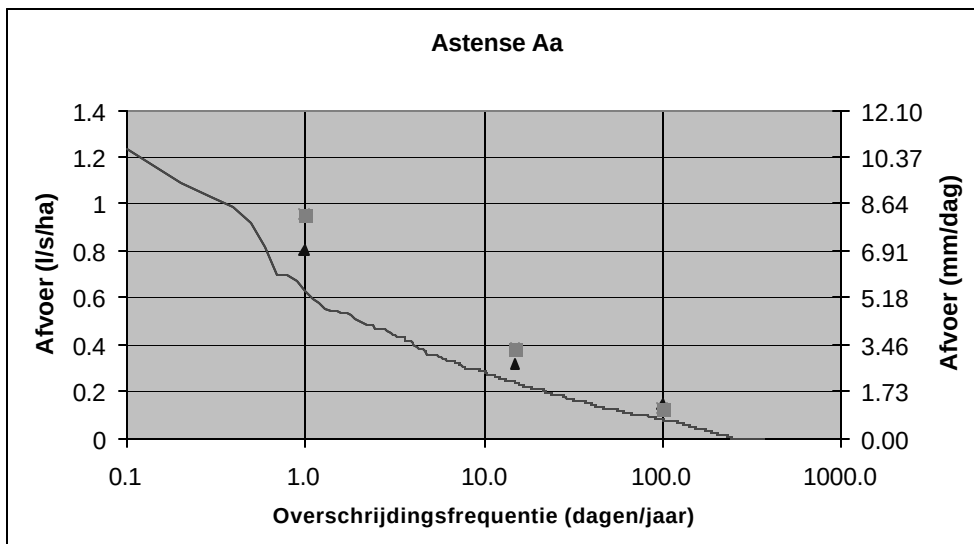


LOCATIE 111
stuw 75-b

Waterloop: Astense Aa
District: Zuid
Kunstwerk: Stuw 75-b
Soort stuw: Romijn-Vlugter
Breedte: 6.35 meter
Aantal openingen: 1
Drempelpeil: 19.17 m+NAP
Maximale stuwstand: 20.45 m+NAP
Stuwformule: $1,72 \times 6,35 \times (h)^{3/2}$
Afwaterend oppervlak: 5101 ha
Maatgevende afvoer: 0.73 l/s/ha
6.35 mm/d

Analyseresultaten

Overschrijdings- frequentie	Tijdreeks		Gt-actualisatie	GHG-Kleijer
dagen/jaar	l/s/ha	mm/d	Mm/d	mm/d
1	0.63	5.41	6.98	8.25
1.5	0.54	4.70		
2	0.50	4.36		
15	0.24	2.05	2.79	3.35
100	0.08	0.72	1.31	1.15
300	0.00	0.00		

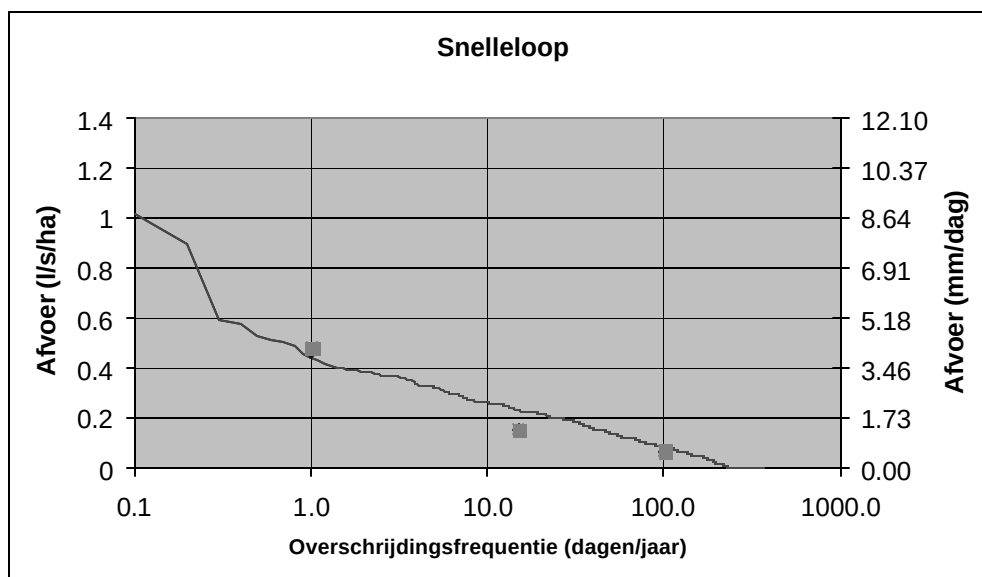


LOCATIE 238
stuw 53-c

Waterloop: Snelle Loop
District: Zuid
Kunstwerk: Stuw 53-c
Soort stuw: Rechte schuif
Breedte: 6.00 meter
Aantal openingen: 1
Drempelpeil: 12.11 m+NAP
Maximale stuwstand: 13.10 m+NAP
Stuwformule: $1.86 \times 6.00 \times (h)^{3/2}$
Afwaterend oppervlak: 2580 ha
Maatgevende afvoer: 0.48 l/s/ha
4.12 mm/d

Analyseresultaten

Overschrijdings- frequentie	Tijdreeks		Gt-actualisatie	GHG-Kleijer
dagen/jaar	l/s/ha	mm/d	Mm/d	mm/d
1	0.44	3.82	3.97	4.17
1.5	0.40	3.42		
2	0.39	3.33		
15	0.23	2.03	1.36	1.36
100	0.08	0.71	0.59	0.64
300	0.00	0.00		

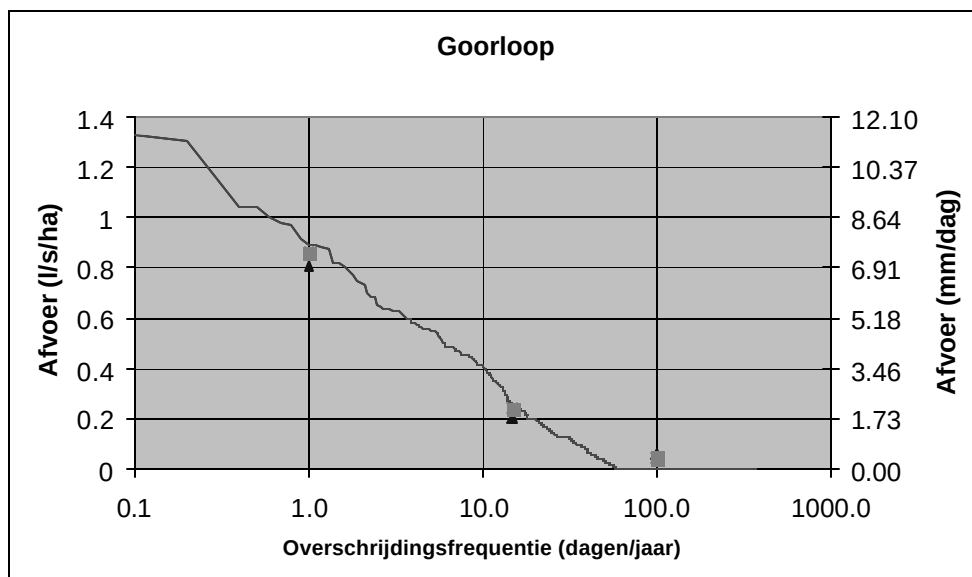


LOCATIE 129
stuw 34-a

Waterloop: Goorloop
District: Noord
Kunstwerk: Stuw 34-a
Soort stuw: Romijn-Vlugter
Breedte: 6.00 meter
Aantal openingen: 1
Drempelpeil: 8.90 m+NAP
Maximale stuwstand: 9.96 m+NAP
Stuwformule oud: $1.86 \times 2.55 \times (h)^{3/2}$
Stuwformule nieuw: $1.72 \times 6.00 \times (h)^{3/2}$
Afwaterend oppervlak: 2198 ha
Maatgevende afvoer: 0.96 l/s/ha
8.25 mm/d

Analyseresultaten

Overschrijdings- frequentie	Tijdreeks		Gt-actualisatie	GHG-Kleijer
dagen/jaar	l/s/ha	mm/d	Mm/d	mm/d
1	1.21	10.50	6.96	7.42
1.5	1.14	9.85		
2	1.05	9.10		
15	0.58	4.98	1.76	2.10
100	0.21	1.80	0.48	0.41
300	0.00	0.00		



LOCATIE 247
stuw 4-k

Waterloop: Groote Wetering
District: Noord
Kunstwerk: Stuw 4-k
Soort stuw: Vaste Bodemval
Breedte: 1.50 meter
Aantal openingen: 1
Drempelpeil: 9.74 m+NAP
Maximale stuwstand: 10.45 m+NAP
Stuwformule: $1.86 \times 1.50 \times (h)^{3/2}$
Afwaterend oppervlak: 1055 ha
Maatgevende afvoer: 0.40 l/s/ha
3.45 mm/d

Analyseresultaten

Overschrijdings-Frequentie	Tijdreeks		Gt-actualisatie	GHG-Kleijer
Dagen/jaar	l/s/ha	mm/d	Mm/d	mm/d
1	0.32	2.80	2.63	3.21
1.5	0.31	2.69		
2	0.28	2.44		
15	0.16	1.39	0.90	1.14
100	0.04	0.31	0.49	0.57
300	0.00	0.00		

