

GXG-KARTERINGS- METHODEN



RAPPORT

2006
26

GXG-KARTERINGSMETHODEN

EEN VERKENNING NAAR DE METHODEN, TOEPASSINGEN
EN MOGELIJKE ONTWIKKELINGEN

RAPPORT

2006

26

ISBN 90.5773.370.6



COLOFON

STOWA, Utrecht

BEGELEIDINGSCOMMISSIE

Ir. M. Talsma	STOWA
Drs. M. de Ruijter	Unie van Waterschappen
Ing. J. Esenkbrink	Waterschap Reest en Wieden
Ir. J.M.P.M. Peerboom	Waterschap Peel en Maasvallei
Ing. W.J.M. Heijkers	Hoogheemraadschap Stichtse Rijnlanden
Ir. J.F. Monincx	Waterschap Regge en Dinkel

TEKST

Drs. G. Winters	ARCADIS
Dr. Ing. J.J. van den Berg	ARCADIS

MET DANK AAN

Drs. T. Hoogland (Alterra)
Drs. Ing. J. W. J. van der Gaast (Alterra)
Dr. Ir. C. Maas (KIWA),
Ir. J.R. von Asmuth (KIWA)
Prof. Dr. Ir. M.F.P. Bierkens (Universiteit Utrecht)
Prof. Dr. Ir. P.A. Troch (WUR)

AFBEELDING OMSLAG

Van der Gaast, J.W.J., et al., 'De grondwaterdynamiek in het waterschap Regge en Dinkel',
Alterra, rapportnr 1335, Wageningen, 2006

DRUK

Kruyt Grafisch Advies Bureau

STOWA

Rapportnummer 2006-26
ISBN 90-5773-370-6

TEN GELEIDE

In diverse gebieden in Nederland lopen initiatieven om de grondwaterinformatie te actualiseren. STOWA is geïnteresseerd in de actualisatie van grondwaterinformatie die o.m. nodig is voor het praktiseren van de waternoodfilosofie. STOWA wil de mogelijkheden verkennen voor het ontwikkelen van een landsdekkende actualisatie.

In de praktijk worden vlakdekkende GxG-actualisaties uitgevoerd volgens verschillende methodes. Er bestaat bij de waterbeheerders echter veel onduidelijkheid over de verschillen tussen deze methoden.

STOWA heeft daarom besloten een verkennend onderzoek uit te voeren waarbij inzicht ontstaat in de problematiek vanuit de gebruikerskant en de potentiële mogelijkheden om methoden te verbeteren of aan te passen.

In het verkennend onderzoek is een inventarisatie gemaakt van de bestaande methoden. De verschillende methoden zijn beschreven en vergeleken. Op basis van de resultaten van de verkennende studie kunnen waterbeheerders een betere selectie maken voor een bepaalde methode waarmee een actuele vlakdekkende GxG kan worden opgesteld.

Bij de beschrijving van de methoden en de vergelijking is informatie ingewonnen bij de methodeontwikkelaars en gebruikers. In een workshop met de methodeontwikkelaars en de begeleidingscommissie (tevens gebruikers) zijn de belangrijkste aspecten ten aanzien van een GxG-actualisatie besproken.

De inbreng van de methodeontwikkelaars, de gebruikers en de begeleidingscommissie heeft in belangrijke mate bijgedragen aan het resultaat van deze studie.

Hartelijk bedankt daarvoor.

Utrecht, oktober 2006.

De directeur van de STOWA,

Ir. J.M.J. Leenen

LEESWIJZER

RAPPORT

In hoofdstuk 1 zijn de aanleiding en de doelstelling van dit onderzoek opgenomen.

Hoofdstuk 2 is een weergave van de vragen die bij gebruikers van GxG actualisatie methoden leven en de verschillen in de resultaten van de verschillende methoden. Hoofdstuk 3 geeft een korte karakterisatie van de verschillende methoden voor de actualisatie van GxG.

Hoofdstuk 4 is een vergelijking tussen de verschillende methoden aan de hand van diverse criteria en een tabel die kan worden gebruikt voor de selectie van een bepaalde methode.

DIGITALE APPLICATIE

Als hulpmiddel bij het maken van een keuze voor een actualisatiemethode is een keuzetabel opgezet.

De digitale applicatie is te vinden via www.stowa.nl → thema's → waterlood → GxG actualisatie.

SAMENVATTING

In diverse gebieden in Nederland wordt bestaande grondwaterinformatie geactualiseerd; veelal om te voorzien in een specifieke behoefte.

Voor het waterbeheer is veelal inzicht nodig in de vlakdekkende actuele freatische grondwaterstandgegevens van een relatief groot gebied. Van deze gebieden is meestal slechts een beperkte hoeveelheid GxG informatie beschikbaar. Bovendien is de dichtheid van het peilbuizennet te laag voor het maken van nauwkeurige ruimtelijke voorspellingen van de GxG.

Voor het actualiseren van GxG ten behoeve van voorspellingen blijkt in de praktijk (veel) gebruik te worden gemaakt van bestaand – maar verouderd - gegevensmateriaal zoals de grondwatertrappen (Gt). De Bodem en Gt-kaarten 1:50.000 van STIBOKA zijn landsdekkend gekarteerd in de periode tussen 1960 en 1985. In 1985 vond de kartering van het laatste kaartblad plaats. In de loop der tijd zijn de niveaus en de fluctuaties van de grondwaterstanden veranderd waardoor de werkelijke situatie sterk kan afwijken van de situatie zoals weergegeven in de Gt-kaarten.

Vanwege een aantal praktische bezwaren (kosten, tijd, beperkte dichtheid peilbuizennet) wordt door verschillende instanties onderzoek gedaan naar alternatieve methoden voor de actualisatie van GxG. Een compleet overzicht van de verschillende methoden is niet beschikbaar.

De STOWA heeft het initiatief genomen om een verkennend onderzoek uit te voeren naar de toepassingsmogelijkheden en beperkingen van methoden voor de actualisatie van GxG. Hiermee kunnen waterbeheerders hun beschikbare GxG-informatie naar waarde schatten of een onderbouwde keuze maken voor een bepaalde methode voor de actualisatie van GxG informatie.

De vraag naar grondwaterinformatie is relatief groot en de toepassingsgebieden zijn divers. Een aantal toepassingsgebieden is onder meer de waternoodsystematiek, de wateropgaven conform WB21, optimalisatievraagstukken van inrichtingsplannen en waterbeheersingsmaatregelen, uitvoering van de Reconstructiewet en de Europese Nitraatrichtlijn en de verdrogingskaart Nederland van het IPO.

Voor enkele waterschappen is een actuele Gt-kaart gebaseerd op recente GxG-waarden belangrijk voor de kostentoedeling. De waarderingsgrondslag van percelen is namelijk een functie van de geschiktheid voor landbouw.

Er bestaan verschillende methoden om de GXG te actualiseren. Het blijkt dat de resultaten van de diverse methoden altijd verschillen vertonen. Toch wordt met de diverse methoden gewerkt afhankelijk van het doel waarvoor de grondwateractualisatie is uitgevoerd.

Om actualisatie-methoden met elkaar te vergelijken zijn de volgende criteria gekozen:

- het detailniveau (gebruiksschaal);
- de mogelijkheid om scenario's te kunnen doorrekenen;
- de doorlooptijd;
- de nauwkeurigheid (en een kwantitatieve inschatting daarvan?);
- de beschikbaarheid van benodigde gegevens
- de mogelijkheid om fluxen te kunnen bepalen.

Voor het actualiseren van de GxG worden diverse typen methoden gebruikt. Dit zijn:

- veldkarteringsmethoden;
- deterministische aanpak via numerieke modellering;
- stochastische methoden;
- hybride methoden.

Enkele methoden zijn specifiek ontwikkeld om de GxG te actualiseren. Andere methoden zijn niet primair ontwikkeld om de GxG te actualiseren, maar kunnen daar wel voor worden gebruikt.

Om de keuze voor een methode te indiceren is op basis van vergelijkbare kenmerken van de diverse methoden een keuzetabel opgezet. De keuzetabel kan helpen bij het bepalen van het doel van de actualisatie en bij het selecteren van een methode. In de tabel worden verschillende aspecten in willekeurige volgorde genoemd. Er worden per methode verschillende geschiktheidscriteria gegeven.

Door middel van de keuzetabel kan een gebruiker relatief eenvoudig en snel screenen welke methode voor de hand ligt in relatie tot de vraag die moet worden beantwoord. De score is een relatieve maat voor de mate waarin de toepassing van een methode de vraagstelling beantwoordt.

Het doel van deze studie is een verkennend onderzoek naar de toepassingsmogelijkheden en beperkingen van methoden voor de actualisatie van GxG. Hiermee kunnen waterbeheerders hun beschikbare GxG-informatie naar waarde schatten of een onderbouwde keuze maken voor een bepaalde methode voor de actualisatie van GxG informatie. Ten aanzien van deze doelstelling wordt geconcludeerd dat:

- voor de actualisatie van GxG potentieel een aantal methoden beschikbaar is
- van de geïdentificeerde potentieel beschikbare methoden maar een beperkt aantal operationeel is (ervaringen door toepassing op praktijkschaal). Het ontbreken van voldoende (ervaring/praktijk) gegevens betekent (veelal) dat onvoldoende inzicht is in de praktische bruikbaarheid van een bepaalde methode.

Eenzijds geven gebruikers aan dat het wenselijk is de methoden aan te passen aan de vragen die de gebruikers stellen. Anderzijds wordt door veel gebruikers opgemerkt dat er nieuwe ontwikkelingen zijn die van invloed zijn op hun vraagstelling ten aanzien van de beschikbaarheid van freatische grondwatermeetgegevens. Behalve het voortdurend verbeteren van de methoden voor gebruikers door voortschrijdend inzicht, is het blijven ontwikkelen van (nieuwe) methoden van belang. Een en ander heeft ook te maken met de inzichten en uitgangspunten die gebruikers hanteren.

Er is weinig kennis is over de nauwkeurigheid van deterministische modellen versus de nauwkeurigheid van stochastische methoden. Om de bruikbaarheid en nauwkeurigheid van deterministische modellen te toetsen in vergelijking met stochastische methoden is een vergelijkend onderzoek nodig. Daarbij moeten foutenvoortplanting en meetnauwkeurigheid en hoe deze zich tot elkaar verhouden, op vergelijkbare wijze worden meegenomen. Een eerste aanzet daarvoor is weergegeven in bijlage 9.

DE STOWA IN HET KORT

De Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer, kortweg STOWA, is het onderzoeksplatform van Nederlandse waterbeheerders. Deelnemers zijn alle beheerders van grondwater en oppervlaktewater in landelijk en stedelijk gebied, beheerders van installaties voor de zuivering van huishoudelijk afvalwater en beheerders van waterkeringen. Dat zijn alle waterschappen, hoogheemraadschappen en zuiveringsschappen en de provincies.

De waterbeheerders gebruiken de STOWA voor het realiseren van toegepast technisch, natuurwetenschappelijk, bestuurlijk juridisch en sociaal-wetenschappelijk onderzoek dat voor hen van gemeenschappelijk belang is. Onderzoeksprogramma's komen tot stand op basis van inventarisaties van de behoefte bij de deelnemers. Onderzoekssuggesties van derden, zoals kennisinstituten en adviesbureaus, zijn van harte welkom. Deze suggesties toetst de STOWA aan de behoeften van de deelnemers.

De STOWA verricht zelf geen onderzoek, maar laat dit uitvoeren door gespecialiseerde instanties. De onderzoeken worden begeleid door begeleidingscommissies. Deze zijn samengesteld uit medewerkers van de deelnemers, zonodig aangevuld met andere deskundigen.

Het geld voor onderzoek, ontwikkeling, informatie en diensten brengen de deelnemers samen bijeen. Momenteel bedraagt het jaarlijkse budget zo'n zes miljoen euro.

U kunt de STOWA bereiken op telefoonnummer: 030-2321199.

Ons adres luidt: STOWA, Postbus 8090, 3503 RB Utrecht.

Email: stowa@stowa.nl.

Website: www.stowa.nl

GXG-KARTERINGSMETHODEN

INHOUD

	TEN GELEIDE	
	LEESWIJZER	
	SAMENVATTING	
	STOWA IN HET KORT	
1	INLEIDING	1
	1.1 Aanleiding	1
	1.2 Doel	2
	1.3 Projectresultaat	2
	1.4 Begeleiding en uitvoering van het verkennend onderzoek	2
	1.5 Werkwijze	2
2	GRONDWATERINFORMATIE VOOR WATERBEHEERDERS	4
	2.1 Informatiebehoefte waterbeheerders GxG	4
	2.2 Praktische aspecten van de huidige GxG-actualisatie	5
	2.2.1 Kwaliteitscriteria voor GxG-karteringsmethoden	5
	2.2.2 Resultaten van GxG Actualisaties in de praktijk	7
3	BESCHRIJVING METHODEN	14
	3.1 Inleiding	14
	3.2 Type-indeling	14
	3.2.1 Veldkarteringsmethoden	15
	3.2.2 Deterministische methoden	15
	3.2.3 Stochastische methoden	15
	3.2.4 Hybride methoden	15

4	VERGELIJKING	16
4.1	Inleiding	16
4.2	Vergelijking van methoden	16
4.2.1	Detailniveau	17
4.2.2	Scenario's kunnen doorrekenen	17
4.2.3	Doorlooptijd	17
4.2.4	Nauwkeurigheid	17
4.2.5	Beschikbaarheid gegevens	18
4.2.6	Fluxen kunnen bepalen	18
4.3	Ervaringen	18
4.4	Keuzetabel	19
5	CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	22
5.1	Conclusie actualisatie methoden GxG	22
5.2	Aanbevelingen Onderzoek en Ontwikkeling	22
	LITERATUUR	25
	BIJLAGEN	
1	Literatuur	25
2	Methodeontwikkelaars en gebruikers	27
3	Vragen	28
4	Samenvatting kenmerken methoden	29
5	Beschrijvingen methoden	33
6	Samenvattende tabel ervaringen	41
7	Workshop	43
8	HDSR-Bijdrage GxG-rapport STOWA	45
9	Voorstel vergelijkend onderzoek	50

1

INLEIDING

1.1 AANLEIDING

In diverse gebieden in Nederland wordt bestaande grondwaterinformatie geactualiseerd; veelal om te voorzien in een specifieke behoefte.

De grondwaterinformatie is gebaseerd op jaarlijkse fluctuaties van het grondwater die in peilbuizen worden gemeten. Deze informatie wordt getransformeerd naar een GHG (Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand) en een GLG (Gemiddeld Laagste Grondwaterstand) die vervolgens kunnen worden gebruikt bij de zogenoemde Gt-karteringen.

Grondwaterinformatie heeft meestal alleen betrekking op (of is vaak beperkt tot) lokale waarnemingen en situaties. Voor het waterbeheer is veelal inzicht nodig in de vlakdekkende actuele freatische grondwaterstandgegevens van een groter gebied. Van deze gebieden is vaak slechts een beperkte hoeveelheid GxG informatie beschikbaar. Bovendien is de dichtheid van het peilbuizenet te laag voor het maken van nauwkeurige ruimtelijke voorspellingen van de GxG. Toch is het van belang om te kunnen beschikken over GxG-informatie die representatief is voor het desbetreffende gebied; de zogenaamde vlakdekkende informatie. Bijvoorbeeld waterbeheerders participeren in de implementatie van de Reconstructiewet en de uitvoering van maatregelen ten aanzien van verdroging en nitraatuitspoeling. Verder zijn waterschappen betrokken bij de ruimtelijke inrichting en de ontwikkeling van het landelijke en stedelijke gebied. Daarvoor is inzicht in de actuele grondwaterfluctuaties noodzakelijk. Het ontbreken van kwalitatief goede gegevens over het grondwater wordt ervaren als een knelpunt voor het opstellen van gewenste grondwater- en oppervlaktewaterregimes (GGOR). Om in die leemte te voorzien worden door waterschappen GxG-actualisaties uitgevoerd waarbij verschillende methoden worden gehanteerd.

Voor het actualiseren van GxG ten behoeve van voorspellingen blijkt in de praktijk (veel) gebruik te worden gemaakt van bestaand gegevensmateriaal zoals de – inmiddels vaak verouderde - grondwatertrappen (Gt) volgens de STIBOKA-Bodemkaart of het Cultuurtechnische Vademecum.

De Bodem en Gt-kaarten 1:50.000 van STIBOKA zijn landsdekkend gekarteerd in de periode tussen 1960 en 1985. In 1985 vond de kartering van het laatste kaartblad plaats.

In de loop van de tijd veranderden de niveaus en de fluctuaties van de grondwaterstanden als gevolg van aanpassingen van de waterhuishouding (drinkwaterwinning, drainage) waardoor de werkelijke situatie nu, kan afwijken van de situatie zoals weergegeven in de Gt-kaarten. Gebruikers van deze informatie worden geacht zich niet alleen bewust te zijn van hoe bepaalde gegevens zoals de GHG en de GLG tot stand zijn gekomen en wat de nauwkeurigheid daarvan is, maar ook dat toetsing van gedateerde gegevens en kaartmateriaal noodzakelijk is.

De oorspronkelijke methode voor het weergeven van grondwaterinformatie is gebaseerd op het verzamelen en in kaart brengen van peilbuisopnames en reeksen van langdurige grondwatermetingen aangevuld met veldwaarnemingen met betrekking tot de bodemgesteldheid, vegetatie, bodemgebruik, ontwaterings situatie en het landschap (zie beschrijvingen Gt in bijlage 4). Vanwege een aantal praktische bezwaren (kosten, tijd, beperkte dichtheid peilbuiszennet) wordt door verschillende instanties onderzoek gedaan naar alternatieve methoden voor de actualisatie van GxG.

Een compleet overzicht van de verschillende methoden voor het actualiseren van freatische grondwatermeetgegevens is op dit moment echter niet beschikbaar.

De STOWA heeft het initiatief genomen (STOWA, werkprogramma 2003-2005) om van methoden voor GxG actualisatie de gegevens te verzamelen, de methoden te beschrijven en deze waar mogelijk te toetsen op de bruikbaarheid voor de vlakdekkende actualisatie van GxG-informatie.

1.2 DOEL

Het doel van deze studie is een verkennend onderzoek naar de toepassingsmogelijkheden en beperkingen van methoden voor de actualisatie van GxG. Hiermee kunnen waterbeheerders hun beschikbare GxG-informatie naar waarde schatten of een onderbouwde keuze maken voor een bepaalde methode voor de actualisatie van GxG informatie.

1.3 PROJECTRESULTAAT

Het resultaat van deze verkenning bestaat uit de volgende onderdelen:

- behoefte aan methoden voor de actualisering van GxG
- criteria voor methodes voor de actualisering van GxG;
- overzicht van de methoden voor de actualisatie GxG;
- vergelijking van methoden;
- conclusies en aanbevelingen .

1.4 BEGELEIDING EN UITVOERING VAN HET VERKENNEND ONDERZOEK

STOWA heeft aan ARCADIS opdracht gegeven voor uitvoering van het onderzoek.

Namens de STOWA is het onderzoek begeleid door een begeleidingscommissie bestaande uit de volgende personen:

- Michelle Talsma, namens het STOWA secretariaat, voorzitter.
- Marcel de Ruijter vanuit de Unie van Waterschappen;
- Jacques Esenkbrink vanuit waterschap Reest en Wieden;
- Jacques Peerboom vanuit waterschap Peel en Maasvallei;
- Joost Heijkers vanuit hoogheemraadschap Stichtse Rijnlanden;
- Sjon Monincx vanuit waterschap Regge en Dinkel.

1.5 WERKWIJZE

De werkwijze bestond globaal uit het verzamelen en samenvatten van informatie over het actualiseren van grondwatergegevens zoals dat thans voorkomt en van methoden die (kunnen) worden gebruikt voor de GxG-actualisatie.

De ontwikkelaars van methoden zijn geïnterviewd aan de hand van vragenlijsten.

Aan personen die betrokken zijn bij de uitvoering van GxG actualisatie is gevraagd een vragenlijst in te vullen.

De namen van de geïnterviewden en de invullers van de vragenlijst zijn opgenomen in bijlage 2. De vragenlijst voor het interview en de vragenlijsten voor de gebruikers zijn in overleg met de begeleidingscommissie bepaald. De vragenlijst voor de gebruikers is opgenomen in bijlage 3.

De verzamelde gegevens zijn neergelegd in een tussenrapportage die diende als uitgangspunt voor een workshop.

Doel van de workshop was:

- de (toepassingen van de) verschillende actualisatiemethoden te bediscussiëren;
- de wensen van toekomstige gebruikers te inventariseren;
- conclusies te trekken over de huidige situatie en aanbevelingen voor gewenste ontwikkelingen.

In de workshop participeerden de begeleidingscommissie en de methodeontwikkelaars. Zowel de begeleidingscommissie als de methodeontwikkelaars behoren allen tot gebruikers. De workshop is gehouden op 18 mei 2004 onder voorzitterschap van professor dr. P. Troch (Wageningen Universiteit en Research Centre).

2

GRONDWATERINFORMATIE VOOR WATERBEHEERDERS

2.1 INFORMATIEBEHOEFTE WATERBEHEERDERS GXG

De vraag naar grondwaterinformatie is relatief groot en de toepassingsgebieden zijn divers. Een aantal toepassingsgebieden wordt hierna genoemd.

Eén van de stappen in de Waternoodsystematiek – een op het grondwater georiënteerde aanpak voor de inrichting en het beheer van oppervlaktewatersystemen - is het bepalen van het actuele grond- en oppervlaktewaterregime (AGOR). Voor het bepalen van de AGOR zijn verschillende gegevens nodig, waaronder actuele GxG-gegevens. (Finke, P.A. et al, *Beter werken met Waternood, Alterra rapport 267, 2001*). De toepassingsgebieden in het waterbeheer en ontwerp (Waternood en WB21) vereisen een hoge ruimtelijke resolutie in combinatie met een hoge mate van betrouwbaarheid.

Onderzoek van de Commissie Waterbeheer 21^e Eeuw (WB21) heeft o.a. geresulteerd in wateropgaven. De wateropgaven geven aan wat nodig is om voldoende water vast te houden en te bergen en, indien dat niet meer mogelijk is, af te voeren. Om aan deze opgaven te kunnen voldoen zijn veelal waterhuishoudkundige maatregelen nodig waarvan niet op voorhand is vast te stellen in hoeverre deze ingrepen bijdragen aan het oplossen van de gestelde wateropgave (van der Gaast et al, *Hydrologie op basis van karteerbare kenmerken, Alterra rapport 1339, 2006*).

Effecten van inrichtingsmaatregelen die bepaalde doelstellingen in de waterbeheersing nastreven, wil men vaak op een hoog detailniveau weten. Uit het oogpunt van optimalisatie van inrichtingsplannen en waterbeheersingsmaatregelen kan het wenselijk zijn om verschillende gedetailleerde scenario's door te kunnen rekenen.

In het kader van uitvoering van de Reconstructiewet en de Europese Nitraatrichtlijn is beschikbaarheid van een actuele GxG voor het agrarische gebied gewenst. Daarom wordt in het kader van de mestwetgeving voor de uitspoelingsgevoelige gronden in Nederland een GxG-actualisatie uitgevoerd (Gruijter, J.J. et al, *Grondwater opnieuw op de kaart, Alterra rapport 915, 2004; Kekem et al, 2005*).

Jaarlijks wordt door het IPO de verdrogingskaart Nederland samengesteld op basis van de informatie die door de provincies wordt aangeleverd (Runhaar, J. et al, *Naar een meetnet verdroging, Alterra rapport 108, 2000*). Voor de toetsing van het uitgevoerde beleid aan de beleidsdoelstellingen, wordt gebruik gemaakt van de GGOR-systematiek. Hiervoor is de beschikbaarheid van een op uniforme wijze geactualiseerde vlakdekkende GxG wenselijk voor vooral natuurgebieden.

Geactualiseerde GxG-kaarten voor de weergave van uitspoeling als ook de droogtekaart vergen minder detail dan bijvoorbeeld de gevolgen van inrichtingsmaatregelen, maar wel een hoge mate van betrouwbaarheid.

Voor enkele waterschappen is een actuele Gt-kaart gebaseerd op recente GxG-informatie belangrijk voor de kostentoedeling. De waarderingsgrondslag van percelen is namelijk een functie van de geschiktheid voor landbouw.

2.2 PRAKTISCHE ASPECTEN VAN DE HUIDIGE GXG-ACTUALISATIE

In het geval van toetsingsvraagstukken van normering volgens WB21 willen waterbeheerders weten of een geplande inrichting- of beheersmaatregel mogelijk zou kunnen leiden tot veranderingen in de VGOR. Daartoe wordt gebruik gemaakt van modellen met behulp waarvan scenario's kunnen worden doorgerekend om inzicht te krijgen in de VGOR. Deze modellen zijn gebaseerd op een bepaalde uitgangssituatie van het grondwater. Gt-informatie geeft alleen de (huidige) situatie en is niet bedoeld (noch geschikt) voor het doen van voorspellingen.

Alle toepassingsgebieden die werken met grondwaterinformatie, stellen hun eigen eisen aan het detailniveau van de gegevens, de nauwkeurigheid daarvan, de resolutie en de doorlooptijd. Om aan die eisen te kunnen voldoen wordt door waterbeheerders de beschikbare informatie gewogen – vaak uit verschillende bronnen - op kwaliteit en kwantiteit. De informatie wordt bijeengevoegd en beoordeeld op bruikbaarheid. Soms wordt dat als voldoende ervaren, maar soms moet aanvullende informatie worden verzameld; hetzij in het veld, hetzij door middel van bewerking van bestaande gegevens.

Daarbij loopt men aan tegen de tegenstrijdigheid van de eisen die voortvloeien uit de specifieke vraag en de praktische omstandigheden van het tijdig en tegen aanvaardbare kosten beschikbaar krijgen van de benodigde informatie.

Hoe beter en hoe meer wordt gemeten, hoe groter de statistische nauwkeurigheid wordt. In de praktijk blijkt dat – los van de kosten – meestal onvoldoende tijd (doorlooptijd) beschikbaar is en moet gebruik worden gemaakt van alternatieven (bij de traditionele veldkarteringsmethode wordt naast metingen ook gebruik gemaakt van schattingen).

Bij het afwegen van alternatieven en het maken van een keuze uit reeds beschikbare methoden voor de vlakdekkende actualisatie van GxG zijn twee factoren van belang. Er is inzicht nodig in de methodische verschillen en er zal een helder inzicht moeten bestaan in de verschillen in kwaliteit van het eindresultaat van de verschillende methodes.

2.2.1 KWALITEITSCRITERIA VOOR GXG-KARTERINGSMETHODEN

Voor de afweging van de verschillende methoden voor GxG actualisatie zijn de volgende criteria gekozen:

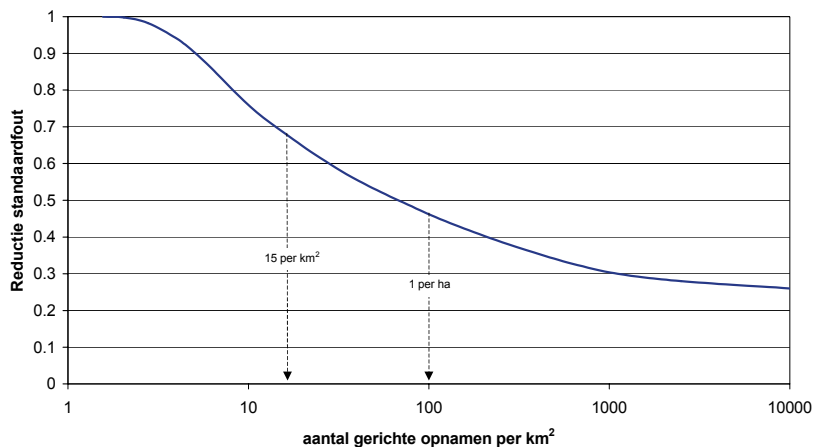
- het detailniveau (gebruiksschaal);
- de mogelijkheid om scenario's te kunnen doorrekenen;
- de doorlooptijd;
- de nauwkeurigheid;
- de beschikbaarheid van benodigde gegevens;
- fluxen kunnen bepalen.

In de volgende paragrafen wordt nader ingegaan op deze criteria.

DETAILNIVEAU

Het detailniveau (schaalniveau) is afhankelijk van de opnamedichtheid van de grondwaterstanden en de bruikbaarheid van meetgegevens. De betrouwbaarheid van het eindresultaat is sterk afhankelijk van het aantal kwalitatief goede waarnemingen en de nauwkeurigheid van de overige informatie. Hoe meer waarnemingen, des te betrouwbaarder het resultaat (en des te duurder het eindproduct). Deze relatie is voor het beheersgebied waterschap Rijn en IJssel weergegeven in de volgende grafiek (uit: *Resultaten vragenlijst Rijn en IJssel, Twan Rosmalen*).

FIGUUR 2.1 AANTAL WAARNEMINGEN VERSUS DE NAUWKEURIGHEID (DEZE RELATIE GELDT VOOR HET BEHEERSGEBIED VAN WATERSCHAP RIJN EN IJSSSEL)



De juistheid en nauwkeurigheid van de Gd-kaarten is vooral in gebieden met een sterke gradiënt, in natuurgebieden en in beekdalen (waarschijnlijk vragen deze gebieden om een grotere dichtheid van waarnemingen) discutabel.

SCENARIO'S KUNNEN DOORREKENEN

Als doel van de GxG-actualisatie wordt ook het bepalen van effecten van verschillende hydrologische ingrepen (scenario's) genoemd. Scenarioberekeningen zijn op dit moment alleen mogelijk met methoden die een deterministisch model als interpolator gebruiken.

NAUWKEURIGHEID EN DOORLOOPTIJD

De doorlooptijd van methoden is vaak relatief lang als metingen en/of peilbuisopnames moeten worden uitgevoerd.

Voor methoden die gebruik maken van bestaande gegevens die voorhanden zijn maar die primair niet waren bedoeld voor de actualisatie van GxG, zijn lange en recente meetreeksen gewenst om de nauwkeurigheid zo hoog mogelijk te krijgen. Overigens ligt voor de hand dat de kosten maar ook de nauwkeurigheid toeneemt, naarmate meer (peilbuis)opnames plaatsvinden.

BESCHIKBAARHEID GEGEVENS

Naast gegevens van de grondwaterstand kunnen ook andere gegevens gebruikt worden om het inzicht in de werking van het (grond)watersysteem te verhogen. Hierdoor kan met weinig gegevens soms toch een redelijk beeld van de actuele GxG parameters verkregen worden. Hierbij kan gedacht worden aan afvoergegevens van het oppervlaktewater en neerslag en verdampingsreeksen.

Belangrijke (sleutel)parameter in alle methoden die een vlakdekkende kaart met GxG-gegevens opleveren is de maaiveldhoogte. De nauwkeurigheid waarmee de maaiveldhoogte is vastgesteld, bepaalt de nauwkeurigheid van de methode in belangrijke mate omdat de GxG is gerelateerd aan de maaiveldhoogte als referentieniveau.

De maaiveldhoogte is beschikbaar uit verschillende databronnen. De meest gebruikte is het Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN); een hoogtebestand gebaseerd op (gevlogen) radarmetingen. Er zijn grids beschikbaar variërend van 5*5 m, 25*25 m en 100*100 m (uit: *Productspecificatie AHN 2000*).

FLUXEN KUNNEN BEPALEN

Als doel van de GxG-actualisatie wordt ook genoemd het bepalen van fluxen om meer inzicht in de werking van het grondwatersysteem te krijgen. Fluxen kunnen op dit moment worden bepaald met methoden die een model als interpolator gebruiken.

OVERZICHT CRITERIA GXG-KARTERINGSMETHODEN

In het onderstaande overzicht is voor een aantal toepassingsgebieden weergegeven welke criteria voor de keuze van een methode doorslaggevend zijn.

Criteria						
Opgaven	Detail niveau	Scenario's kunnen doorrekenen	Door-loop-tijd	Nauw-keurig-heid	Beschik-baarheid gegevens	Fluxen kunnen bepalen
GGOR	hoog	Ja	half jaar	hoog	goed*	ja
Reconstructie	-	-	-	-	-	-
Verdroging	middel	Nee	jaar	middel	middel	nee
Kosten toedeling	hoog	Nee	jaar	hoog	middel	nee
Evaluatie inrichtingsmaatregelen	hoog	Ja	half jaar	hoog	goed*	ja
Bepalen uitspoelinggevoeligheid	hoog	nee	jaar	hoog	middel	nee

* Dit geldt voor lokale gebiedsgerichte analyses. Als hier te weinig gegevens voorhanden zijn worden deze in het veld verzameld. Bij het thema verdroging en kostentoedeling is vaak een gebiedstotale analyse aan de orde. Hierbij wordt gebruik gemaakt van bij het waterschap verzamelde meetgegevens etc. De beschikbaarheid van gegevens op totaal gebiedsniveau schiet dikwijls te kort. Vandaar de classificatie "middel".

- Geen ervaring.

2.2.2 RESULTATEN VAN GXG ACTUALISATIES IN DE PRAKTIJK

In dit hoofdstuk wordt een samenvatting gegeven van een praktijkcase waarbij de GXG is geactualiseerd volgens verschillende methoden voor een en hetzelfde gebied binnen het Waterschap Regge en Dinkel.

Voor het waterschap Regge en Dinkel is de actualiteit van de Gt-kaart beoordeeld op basis van peilbuisinformatie. Hieruit bleek dat actualisatie van de Gt wenselijk was (*I.Hoogland, R.Visschers, Actualiteitsbeoordeling Gt-kaarten Waterschap Regge en Dinkel, Intern Alterra rapport, 2000*).

Naast de actualiteit van de grondwatergegevens wensen de gebruikers van Gt-kaarten meer informatie dan alleen de Gt-klassen met een gemiddeld hoogste en gemiddeld laagste grondwaterstand (resp. GHG en GLG). Er is behoefte aan kaarten van de GHG, de GVG en de GLG (samengevat als GxG's), regimecurves en duurlijnen, evenals aan een indicatie van de nauwkeurigheid van deze informatie (grondwaterdynamiek).

Binnen het beheergebied van waterschap Regge en Dinkel is daarom een onderzoek uitgevoerd waarbij deze gegevens in kaart zijn gebracht. Een belangrijke randvoorwaarde voor het onderzoek was, dat de wijze waarop het onderzoek werd uitgevoerd een duidelijke relatie zou hebben met de landelijke Gd-kartering voor het ministerie van LNV.

Naast de Gd-methode is - als gevolg van tegenvallende resultaten van de landelijke Gd-kartering voor LNV - gebruik gemaakt van andere actuele Gt-informatie. Ter verbetering van de Gd-kaart is gebruik gemaakt van digitaal beschikbare recente detailkarteringen. Deze detailkarteringen zijn beschikbaar voor ruim 25% van het beheergebied van het waterschap. In het kader van het onderzoek is een techniek ontwikkeld om tussen de puntinformatie uit de detailkarteringen te interpoleren. Hierdoor was het mogelijk om de detailkarteringsinformatie te gebruiken om de Gd-informatie te vervangen in de gebieden waar deze digitaal beschikbaar zijn.

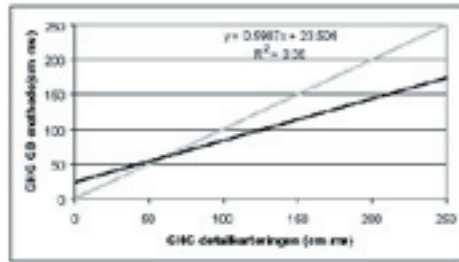
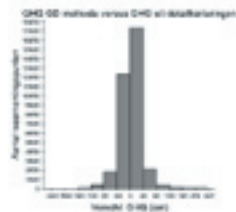
Aangezien de patrooninformatie van de Gd-kaart voor de overige 75% van het areaal te wensen overliet, is een alternatieve kaart gemaakt. Het gaat hierbij om een relatief nieuwe methode waarmee de grondwaterstand, gebruikmakend van Gt-patrooninformatie, via een neerschalingstechniek effectief en relatief eenvoudig kan worden bepaald.

Om inzicht te krijgen in de kwaliteit van de afzonderlijke actuele Gt-informatiebronnen is een validatie uitgevoerd.

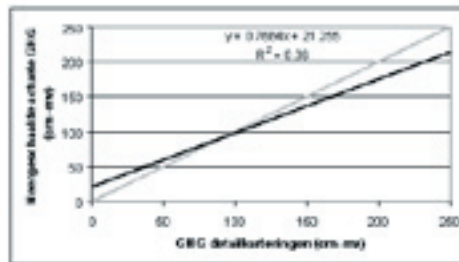
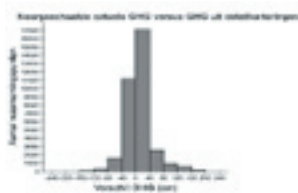
FIGUUR 2.2 VALIDATIERESULTATEN VOOR DE GHG VOOR DE DIGITAAL BESCHIKBARE DETAILKARTERINGEN (NAAR VAN DER GAAST ET AL, 2006)

GHG

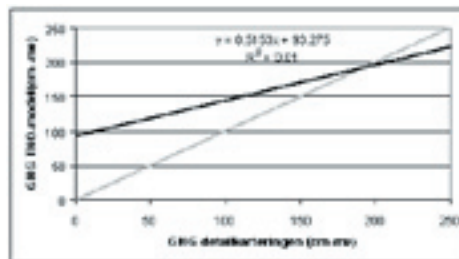
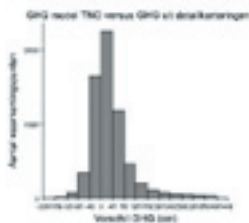
Aantal: 34444
 Gemiddeld: 4.2
 Standaarddeviatie: 31.2
 Verklaarde variantie: 0.36
 Standaardfout: 27.9



Aantal: 34339
 Gemiddeld: 9.8
 Standaarddeviatie: 36.7
 Verklaarde variantie: 0.36
 Standaardfout: 35.7



Aantal: 34898
 Gemiddeld: 69.3
 Standaarddeviatie: 178.0
 Verklaarde variantie: 0.01
 Standaardfout: 177.0



Voor de validatie is gebruik gemaakt van detailkartingsinformatie. Deze informatie is gebaseerd op uitgebreid veldonderzoek en is voorgelegd aan de ingelanden. (Hierdoor worden dergelijke kaarten gedragen in de streek). Uit de validatie komt naar voren dat de Gd-methode t.o.v. andere methoden de geringste gemiddelde afwijking heeft met de detailkarteringen. De Gd-kaarten blijken echter voor een groot gedeelte van het gebied te zijn afgevlakt en deze geven de patronen in de GHG en GLG niet goed weer. Neerschaling van de actuele GxG op basis van detailkarteringsinformatie geeft redelijk goede resultaten voor zowel de absolute GxG als de patrooninformatie.

Voor het beheergebied van het waterschap was tevens een hydrologisch (Modflow) model beschikbaar. Het Modflow model kan de GHG patronen moeilijk simuleren, vooral in gebieden met keileem in de ondergrond. Het Modflow model kan daarentegen de patronen van het GLG-verloop redelijk goed simuleren. De GLG wordt echter iets te droog gesimuleerd. Uit het onderzoek komt verder naar voren dat het geheel uitschakelen van het klimaat middels lineaire tijdreeksmodellen niet mogelijk is. Er zijn slechts geringe verschillen tussen de klimaatsrepresentatieve GxG en de GxG berekend op basis van metingen over een periode van tenminste 8 jaar. Hierdoor kunnen beide gegevens naast elkaar worden gebruikt.

Verder is gebleken dat de GxG's berekend in stambuizen, als gevolg van het niet meenemen van anisotropie in bodemprofielen, gemiddeld droger zijn dan de GxG's uit de detailkarteringen en derhalve resulteren in een numerieke verdroging (van der Gaast et al., 2006).

In het kader van het onderzoek zijn voor het waterschapsgebied verschillende actuele Gt-informatiebronnen beschikbaar gekomen. Voorbeelden zijn weergegeven in de figuren 2.3, 2.4, 2.5 en 2.6.

De algemene conclusie is dat elke methode een beeld geeft dat verschilt ten opzichte van de andere gehanteerde methode. De overige conclusies die kunnen worden getrokken zijn de volgende:

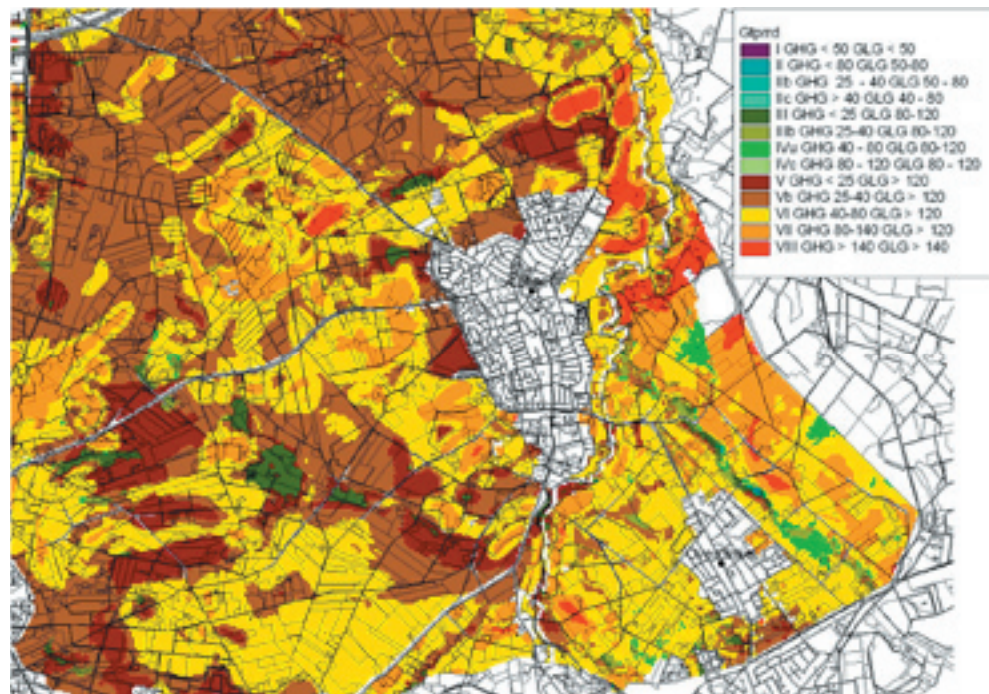
De Gd-kaart geeft statistisch gezien de beste schatting van de actuele Gt op een schaal 1:50.000 en dient altijd gebruikt te worden in combinatie met de bijbehorende informatie over de onzekerheid.

De geïnterpoleerde detailkarteringen die voor ruim 25% van het areaal beschikbaar zijn, hebben een hoog detailniveau (gebruiksschaal 1:7.500) en beschrijven de patrooninformatie goed. Hierdoor zijn deze kaarten voor de meeste toepassingen bruikbaar.

De actuele neergeschaalde Gt heeft een gebruiksschaal van 1:50 000 en geeft een goede beschrijving van de Gt-patronn op deze schaal. Deze kaart is bijvoorbeeld bruikbaar voor het afleiden van afvoer- en kwel/wegzijgingsgegevens.

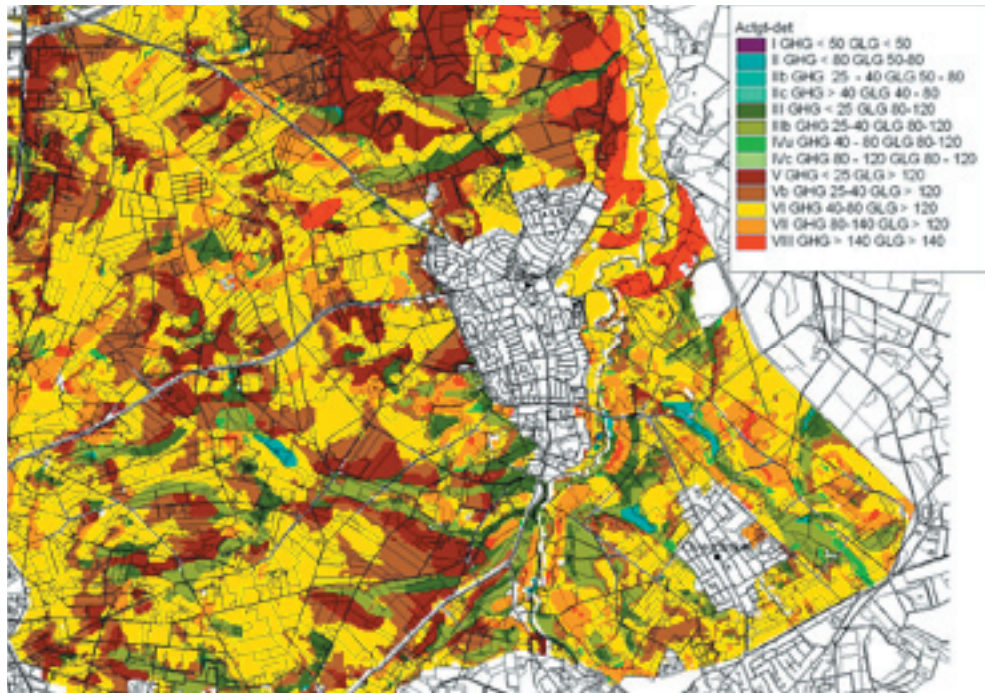
FIGUUR 2.3

KARTERING VOLGENS GD-METHODE



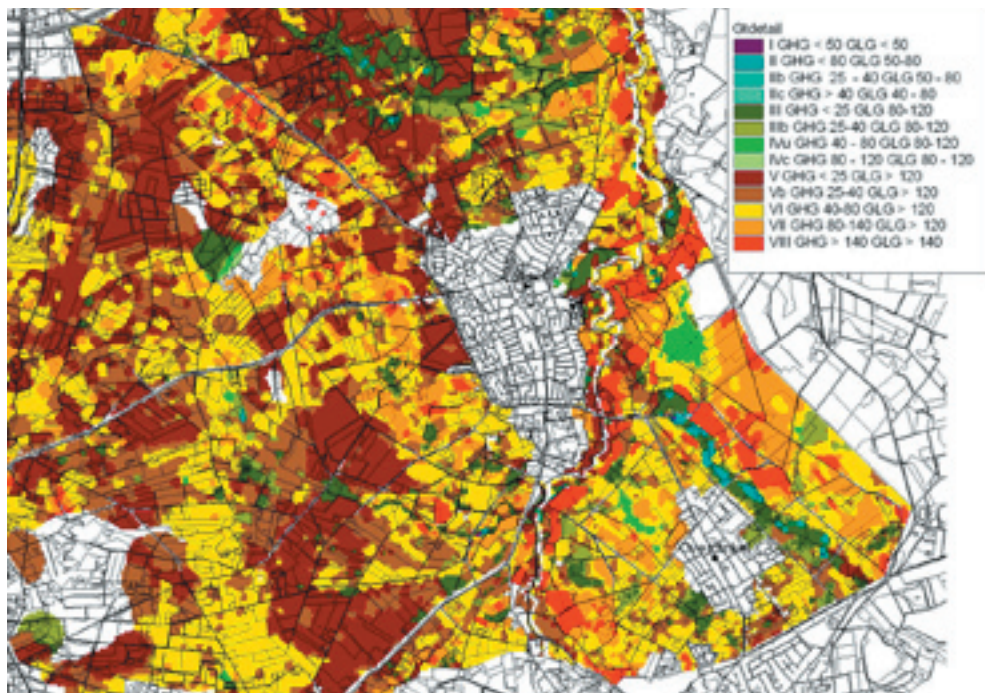
FIGUUR 2.4

KARTERING VOLGENS EENVOUDIGE NEERSCHALINGMETHODE



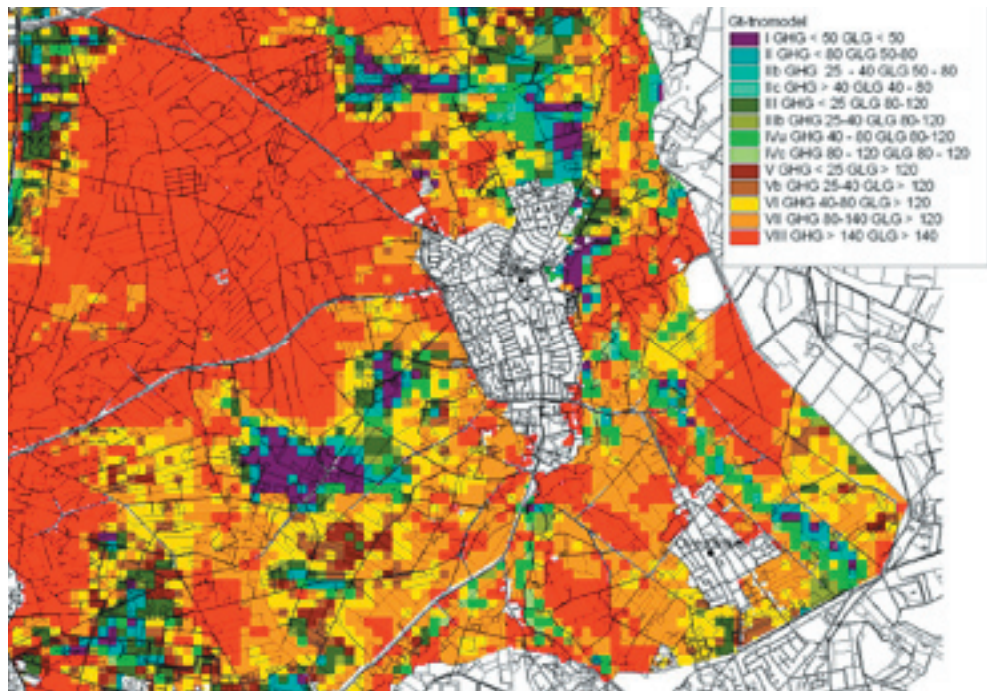
FIGUUR 2.5

KARTERING VOLGENS GEÏNTERPOLEERDE DETAILKARTERINGEN



FIGUUR 2.6

KARTERING VOLGENS GT-TNO MODEL



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

VERGELIJKING SIMGRO-GT ACTUALISATIE MET GT-KAART (HDSR)

De algemene conclusie wordt ondersteund door de resultaten van een vergelijkende studie die is uitgevoerd binnen het beheersgebied van het Hoogheemraadschap Stichtse Rijnlanden (HDSR). Hierbij zijn de resultaten van SIMGRO met Gt-actualisatie vergeleken met een Gt-kaart (Kiestra, E. *Bodemkundig-hydrologisch onderzoek voor de waardebeoordeling van de gronden in het ruilverkavelingsgebied Kromme Rijn*, 2003, Alterra rapport 252).

Figuur 2.7 laat de verschillen zien tussen een op SIMGRO gebaseerde Gt-kaart en een Gt-kaart. De blauwe kleuren laten de verschillen zien in termen van maximaal 1 Gt-klasse. In de lila-gebieden is het verschil maximaal 3 klassen en in de rode gebieden is het verschil maximaal 5 Gt-klassen.

FIGUUR 2.7 VERGELIJKING SIMGRO-GT EN GT (BRON: HDSR ZIE BIJLAGE 8)



3

BESCHRIJVING METHODEN

3.1 INLEIDING

Bij de beschrijving van de methoden is gewerkt vanuit de praktijkvragen van de gebruikers; in dit verkennende onderzoek meestal waterbeheerders.

De oudste en meest bekende methode is de grondwatertrap Gt (bijlage 4).

Voor het actualiseren van de GxG worden diverse typen methoden gebruikt. Dit zijn:

- veldkarteringsmethoden;
- deterministische aanpak via numerieke modellering;
- stochastische methoden;
- hybride methoden.

Enkele methoden zijn specifiek ontwikkeld om de GxG te actualiseren. Andere methoden zijn niet primair ontwikkeld om de GxG te actualiseren, maar kunnen daar wel voor worden gebruikt.

In de volgende paragraaf zijn de methoden ingedeeld naar type.

Een uitvoerige beschrijving van de typen is weergegeven in bijlage 4.

3.2 TYPE-INDELING

De actualisatiemethoden kunnen worden onderscheiden in een aantal hoofdtypen. Binnen deze hoofdtypen is een verdere verdeling mogelijk.

- I Veldkartering
 - I.1 Traditionele kartering op basis van o.a. veldschattingen
 - I.1.1 V eldopnames grondwaterstand
 - I.1.1.a Eenmalige gerichte opnames (Gt-veldkartering)
 - I.1.1.b Doorlopend opnames regulier meetnet waterbeheerder
- II Deterministische methode
 - II.1 Deterministisch, gedistribueerde methoden
 - II.1.a MODFLOW, MicroFEM, Triwaco of SIMGRO model
 - II.2 Deterministisch, niet-gedistribueerde methoden
 - II.2.a Fysisch deterministische relaties (SWAP, HYDRUS-1D, e.a.)
 - II.2.b Impuls respons functies
- III Stochastische methoden
 - III.1 Tijdreeksanalyse op punten
 - III.1.a Stambuisregressie i.c.m. gerichte opnames grondwaterstanden
 - III.2 Stochastisch, gedistribueerde methoden
 - III.2.a. Gd-kartering

IV Hybride methoden

IV.1 Gedistribueerde methoden (MODFLOW Representer)

IV.2 Analytische Gd-kartering

IV.3 Pragmatische aanpak Hoogheemraadschap Stichtse Rijnlanden

IV.4 Eenvoudige Neerschalingmethode

3.2.1 VELDKARTERINGSMETHODEN

De klassieke wijze van bodemkartering is een vlakdekkende veldkartering. Het afleiden van waarden voor GxG uit de bodembeschrijvingen en grondwatermeetreeksen gebeurt op profiel en landschapskenmerken, ontwateringssituatie, vegetatie en grondgebruik in combinatie met statistische regressietechnieken.

3.2.2 DETERMINISTISCHE METHODEN

Deterministische methoden kenmerken zich door het toepassen van mathematisch geformuleerde relaties en meetbare eigenschappen van bijvoorbeeld bodemmateriaal. Het bouwen van een numeriek grondwatermodel in Modflow, SIMGRO of een andere modelomgeving is daar een voorbeeld van. Met dergelijke modellen kunnen tijdreeksen worden doorgerekend waaruit vervolgens GXG-waarden kunnen worden berekend (Hermans, D.G.M. et al, Duurzaam waterbeheer Landbroekwetering, Alterra 2004).

3.2.3 STOCHASTISCHE METHODEN

Stochastische methoden kenmerken zich door (empirische relaties) relaties te leggen tussen fysieke omstandigheden (zoals bijv. landschap, bodemtype) en grondwaterstanden. Voordeel bij stochastische methoden is dat de waterbeheerder een uitkomst krijgt inclusief een kwantitatieve schatting van de nauwkeurigheid van de uitkomst. De berekende wordt echter veelal onderschat aangezien onzekerheden in de parameters van modellen doorgaans niet worden verdisconteerd (v.d. Gaast en Massop, Stromingen, 11, nr.4, 2005).

3.2.4 HYBRIDE METHODEN

De type-indeling geeft een idee van de denkrichting die is gevolgd bij het ontwikkelen van een methode. In de praktijk zijn er vele combinaties van technieken uit verschillende methoden te gebruiken om een actualisatie uit te voeren. Het is daardoor niet altijd mogelijk om een methode eenduidig in één van de categorieën onder te brengen. Bijvoorbeeld Menyanthes (KIWA Waterware presenteert Menyanthes, leaflet 057) is net als de Representer techniek van TNO (zie Valstar, J.R, 2001, Inverse Modelling of Groundwater Flow and Transport; PhD-Thesis, Delft University of Technology) een gecombineerde deterministische-stochastische techniek en zou daarmee in twee categorieën in te delen zijn.

4

VERGELIJKING

4.1 INLEIDING

In Nederland zijn en worden voor verschillende gebieden actualisaties uitgevoerd.

Een compleet overzicht is niet gemaakt. Enkele voorbeelden zijn:

- Beheersgebieden van de waterschappen gelegen in de provincie Noord-Brabant;
- Beheersgebied waterschap Rijn en IJssel;
- Beheersgebied waterschap Regge en Dinkel;
- Het zandgebied van Nederland;
- Reconstructiegebieden.

Tot op heden zijn alleen meerdere goed gedocumenteerde ervaringen bekend van de Gd- en Gt-karteringsmethode. Er zijn in het verleden ook andere methodes toegepast. Voor een aantal genoemde methoden is recentelijk een validatie uitgevoerd (*van der Gaast et al., 2006*). Een aantal andere methoden is in de praktijk niet of te weinig toegepast, waardoor er geen ervaringen bekend zijn of deze te beperkt zijn om als referentie te dienen.

In paragraaf 4.4 is een keuzetabel opgenomen die door middel van kwalitatieve criteria een keuzeproces voor een GXG actualisatie methode kan ondersteunen. Opgemerkt wordt dat een aantal methoden nooit is toegepast, waardoor het lastig is om een inschatting te geven van de mogelijke voor- en nadelen.

4.2 VERGELIJKING VAN METHODEN

Om te kunnen kiezen voor een bepaalde methode van actualisatie van de GxG dient het doel van de actualisatie centraal te staan. In hoofdstuk 2 is aangegeven welke criteria kunnen worden gehanteerd voor de doelstelling van de GxG actualisatie.

In deze paragraaf worden de verschillende mogelijke methoden onderling vergeleken aan de hand van de in hoofdstuk 2 beschreven kwaliteitscriteria:

- detailniveau;
- scenario's kunnen doorrekenen;
- doorlooptijd;
- nauwkeurigheid;
- beschikbaarheid gegevens;
- fluxen kunnen bepalen.

Voor de vergelijking is gebruik gemaakt van de ervaringen van verschillende waterbeheerders met GxG-actualisatie. Deze zijn vergeleken met eigenschappen van andere methoden verkregen uit de interviews van de methodeontwikkelaars.

4.2.1 DETAILNIVEAU

De Gd-kartering, analytische Gd-kartering, eenvoudige neerschalingmethode en de deterministische methoden via modellen zijn het meest gedetailleerd. In plaats van kaartvlakken (in de oorspronkelijke bodem- en Gt-kaart) naar rastercellen van 25x25m. De deterministische methoden via modellen kunnen afhankelijk van de beschikbare input elke (gewenste) resolutie opleveren. De veldkarteringen hebben vaak een detailniveau tussen 1:10.000 (Gt-kartering) en 1:50.000. Landschapsanalyse en is het minst gedetailleerd.

4.2.2 SCENARIO'S KUNNEN DOORREKENEN

Het actualiseren van de GxG door middel van de Gd methode levert alleen een kaartbeeld op van de actuele GxG. Het doorrekenen van scenario's is op dit moment alleen mogelijk met methoden die een deterministisch model als interpolator gebruiken. Voorbeeld is de deterministische aanpak via Modflow, SIMGRO of ander numeriek model. Voor een aantal andere methoden wordt gewerkt aan het kunnen doorrekenen van scenario's.

4.2.3 DOORLOOPTIJD

De doorlooptijd van de methoden voor veldkartering is relatief gezien groot ten opzichte van andere methoden i.v.m. het verzamelen van veldgegevens en peilbuisopnames. Voorbeelden van methoden die gebruik maken van de grondwatermetingen en daardoor een relatief lange doorlooptijd hebben zijn de Gt-veldkartering, Gd-kartering en de analytische Gd-kartering. Methodes die zijn gebaseerd op een model als interpolator vergen relatief veel tijd in verband met de modellering.

Methodes die gebruik maken van gegevens die zijn verzameld (in het kader van andere onderzoeken) en die min of meer toevallig beschikbaar zijn, hebben een relatief korte doorlooptijd. Voorbeelden daarvan zijn de eenvoudige neerschalingmethode en Landschapsanalyse.

4.2.4 NAUWKEURIGHEID

De nauwkeurigheid van een kaart is niet hetzelfde als de resolutie van een grid.

De foutenmarge rond de (geïnterpoleerde) gegevens is van belang en een punt van overweging bij de keuze van een methode. In het programma van eisen voor een GxG actualisatie is het mogelijk eisen te stellen aan de foutenmarge. Bij de Gd-kartering wordt naast de voorstelling altijd een vlakdekkende kwantitatieve inschatting van de nauwkeurigheid geleverd. Afhankelijk van de gebruiker kan het aangeven van nauwkeurigheid als positief of negatief worden ervaren. Positief omdat het inzicht geeft in de bandbreedte; negatief omdat niet bekend is hoe om te gaan met (on)nauwkeurigheid.

De nauwkeurigheid van de kartering hangt in de eerste plaats af van de beschikbaarheid van betrouwbare meetgegevens. In dit verband zijn vooral het schaalniveau waarop dataverzameling plaatsvindt, de meetdichtheid en kwaliteit van de grondwaterstanden en de beschikbaarheid van (lange) meetreeksen maatgevende factoren voor de nauwkeurigheid.

Tijdens de workshop is naar voren gekomen dat ook deterministische modellen beperkingen hebben ten aanzien van de nauwkeurigheid. De nauwkeurigheid wordt onder meer bepaald door invoerfouten, parameterfouten, conceptuele modelfouten en fouten geïntroduceerd door numerieke oplossingsmethoden. Er zijn overigens methoden beschikbaar om de fouten op te sporen en de nauwkeurigheid van de modellen te bepalen (Vrugt, J.A. (2004) *Towards improved treatment of parameter uncertainty in hydrologic modelling*; PhD-Thesis, University of Amsterdam).

Op dit moment is onvoldoende informatie beschikbaar over objectieve vergelijkingen tussen de nauwkeurigheid van deterministische modellen en Gd-kartering.

De stochastische methoden bieden extra mogelijkheden, omdat de informatie over onzekerheden bij deze methoden kan worden gebruikt. Bij stochastische methoden krijgen waterbeheerders relatief gezien meer informatie dan bij andere methoden bijvoorbeeld t.a.v. de kans op voorkomen van water in kruipruimtes of overschrijding van kritische grondwaterstanden.

4.2.5 BESCHIKBAARHEID GEGEVENS

Bij de keuze van een bepaalde methode is een belangrijk uitgangspunt de hoeveelheid beschikbare peilbuizen en peilbuisgegevens in het doelgebied. Dit uitgangspunt moet worden getoetst aan het doel van de actualisatie. Het bijstellen van de doelstelling of het verzamelen van meer informatie kan dan in een vroegtijdig stadium plaatsvinden.

Methoden die naast grondwaterstandgegevens ook gebruik maken van andere informatie zijn Landschapsanalyse, deterministisch gedistribueerde methoden en de eenvoudige neerschalingmethode.

4.2.6 FLUXEN KUNNEN BEPALEN

Fluxen bepalen is op dit moment alleen mogelijk met methoden die een model als interpolator gebruiken. Voorbeeld is de deterministische aanpak via Modflow, SIMGRO of een ander numeriek model.

4.3 ERVARINGEN

Het aantal praktische ervaringen is relatief beperkt. De meeste ervaringen zijn opgedaan met de veldkarteringsmethoden, de Gd-methode en de eenvoudige neerschalingmethode. Deze methoden zijn operationeel en veel van de kaartbeelden die door middel van deze methoden zijn verkregen, zijn gevalideerd.

- Een geactualiseerde GxG die alleen gebaseerd is op veldmetingen en historische tijdreeksen maakt het nog niet mogelijk om het effect van maatregelen te beoordelen via bijvoorbeeld het Waterlood instrumentarium. Reeds uitgevoerde maatregelen blijken na verloop van tijd wel uit veldmetingen.
- In methoden die uitgaan van klimaatrepresentatieve periodes met correlaties tussen korte reeksen veldwaarnemingen en langjarige TNO-reeksen komen veranderde veldsituaties niet zonder meer naar voren. Daarvoor moeten de veldwaarnemingen in de veranderde situatie zijn opgenomen.
- Bij de Gd-kartering is het inventariseren van de gerichte opnamen de grootste kostenpost. Door (bijvoorbeeld) 5-jaarlijks, in zowel de GHG als GLG-periode¹, landelijk gerichte opnames uit te voeren zou de GxG-actualisatie kunnen worden vereenvoudigd.

¹ Dit zijn de perioden, gebaseerd op langere tijdsreeksen, waarbij de kans het grootst is dat er een grondwaterstand optreedt die in dezelfde grootte-orde ligt als de GLG en de GHG.

- De freatische grondwaterstand is uitermate variabel in zowel ruimte als tijd. Daarom is het haast onmogelijk om op voldoende punten langjarige tijdsreeksen op te bouwen via monitoring. Om de modelberekeningen (zowel de stochastische als deterministische) toch voldoende op meetgegevens te kunnen baseren is het zaak om ook zogenaamde gerichte opnames te maken. Dit zijn schattingen van de freatische grondwaterstand (ten opzichte van maaiveld) opgenomen in een boorgat. Deze gegevens worden als belangrijke ankerpunten ingezet in het kader van de Gd-kartering, maar zijn recent ook gebruikt bij de kalibratie van een deterministisch model gebouwd met SIMGRO (HKV, 2005, in voorbereiding).

De volgende ervaringen zijn afkomstig uit rapportages van Waterschap Regge en Dinkel (van der Gaast et al., 2006)

- De Gd is statistisch gezien de beste methode. De hydrologisch patronen worden echter door de Gd-methode lang niet altijd goed beschreven. Toepassing van de Gd-methode is eigenlijk alleen mogelijk als ook informatie over de 'voorspelnaauwkeurigheid' wordt betrokken.
- De regimecurve die tegenwoordig wordt gegenereerd heeft betrekking op de daggemiddelde regimecurve. Deze curve is sterk afgevlakt en heeft een geringe relatie in de tijd. De daggemiddelde grondwaterregimecurve geeft echter statistisch gezien de beste schatting van een grondwaterstand voor een willekeurige dag. De daggemiddelde regimecurve is echter niet bruikbaar voor bijvoorbeeld schadeberekeningen of waternoodtoepassingen (van der Gaast en Massop, 2005).
- Toepassing van de Gd-methode is gevoelig voor de wijze waarop het veldwerk is uitgevoerd.
- Een hoge opnamedichtheid van peilbuiswaarnemingen is gewenst.
- Beschikbare detailkarteringen geven vrijwel altijd een betrouwbaarder beeld dan karteringen op een grotere schaal.

4.4 KEUZETABEL

Om de keuze voor een methode te indiceren is op basis van vergelijkbare kenmerken van de diverse methoden, is een keuzetabel opgezet. De keuzetabel kan helpen bij het bepalen van het doel van de actualisatie en bij het selecteren van een methode.

Belangrijke vragen die een gebruiker zich moet stellen bij het maken van een keuze zijn (niet in volgorde van belangrijkheid):

- Welk budget is beschikbaar voor de GXG actualisatie? Daarbij is het goed rekening te houden met kosten voor het bouwen van numerieke rekenmodellen bij methoden die daarvan gebruik maken en deze af te zetten tegen andere werkzaamheden en de eventuele inzet van eigen medewerkers en ingehuurde krachten.
- Binnen welke termijn moet een geactualiseerd kaartbeeld beschikbaar zijn? De voorbereidingstijd is daarbij een belangrijke factor.
- Zal de kaart worden gebruikt in Waternood als geactualiseerde Gt?
- Moet de methode ook de mogelijkheid bieden om scenario's door te rekenen (bijvoorbeeld ten behoeve van het GGOR)?

- Kan worden beschikt over veel kwalitatief goede gegevens uit landelijke en/of regionale gegevensbestanden en zijn langjarige meetreeksen beschikbaar?
- Wordt de actualisatie uitgevoerd in eigen beheer of wordt dit uitbesteed aan een adviesbureau of gespecialiseerd bureau? (Methoden met een hoge mate van complexiteit kunnen vaak niet in eigen beheer worden uitgevoerd).
- Is het bezwaarlijk dat de ervaringen van een bepaalde methode beperkt zijn en/of dat de methode bij weinig aanbieders operationeel is?
- Wat is de grootte van het te karteren gebied? De methoden laten zich over het algemeen goed vergelijken van stroomgebiedschaal tot de schaalgrootte van een heel waterschap.
- Moet het weergeven van de nauwkeurigheid en betrouwbaarheid een inherente eigenschap van de methode zijn?

In onderstaande (interactieve) keuzetabel worden verschillende aspecten in willekeurige volgorde belicht. Er worden per methode verschillende geschiktheidscriteria gegeven.

Door middel van de keuzetabel kan een gebruiker snel screenen welke methode voor de hand ligt in relatie tot de vraag die moet worden beantwoord. De score is een relatieve maat voor de mate waarin de toepassing van een methode de vraagstelling beantwoordt.

In figuur 4.1 is een voorbeeld van een ingevulde keuzetabel opgenomen.

De methoden die operationeel zijn en waarvan meerdere gedocumenteerde praktijkervaringen bekend zijn (zie 4.3) zijn aangegeven met de (0) van Operationeel. Door het ontbreken van de informatie over de operationaliteit, is een objectieve weging van alle factoren niet mogelijk. De geschiktheidsscore moet daarom worden beschouwd als een indicatie.

FIGUUR 4.1 VOORBEELD INGEVULDE KEUZETABEL

Onderwerp	methoden:	methodes							
		Veldkartering: CT Veldkartering (0)	Deterministisch met gedistribueerd: CD kartering (0)	Hybride: Neerschallingsmethode (0)	Deterministisch gedistribueerd: numeriek: model	Stochastisch bijtrek: Menyanthes	Stochastisch gedistribueerd: Landschapanalyse	Hybride: Analytische CD kartering	
Opperlakte (ha)	100000								
Beschikbaar budget (in euro's)	150000	ongeschikt	ongeschikt	geschikt	ongeschikt	geschikt	geschikt	geschikt	geschikt
Binnen welke termijn moeten er resultaten zijn (in maanden)	6	ongeschikt	ongeschikt	geschikt	geschikt	geschikt	geschikt	geschikt	geschikt
Resultaat op puntniveau of een vlakdekkende kaart (punt/vlak)	vlak	geschikt	geschikt	geschikt	geschikt	ongeschikt	geschikt	geschikt	geschikt
Moet de methode ook scenario's kunnen doorrekenen (ja/nee)	ja	ongeschikt	ongeschikt	ongeschikt	geschikt	geschikt	geschikt	geschikt	geschikt
Moet de methode ook geschikt zijn voor het bepalen van fluxen (ja/nee)	nee	-	-	-	-	-	-	-	-
Beschikbare gegevens: 1) landelijk, 2) regionaal-eigen monitoring gegevens, 3)	2	ongeschikt	ongeschikt	geschikt	geschikt	geschikt	geschikt	geschikt	geschikt
Moet methode standaard de nauwkeurigheid weergeven (ja/nee)	nee	-	-	-	-	-	-	-	-
Is het bezwaarlijk dat de methode bij één aanbieder operationeel is (ja/nee)	ja	ongeschikt	ongeschikt	geschikt	geschikt	geschikt	geschikt	ongeschikt	ongeschikt
Score		1 x geschikt	1 x geschikt	5 x geschikt	5 x geschikt	5 x geschikt	6 x geschikt	5 x geschikt	

Overigens wordt opgemerkt dat Menyanthes geen vlakdekkende informatie levert. Op de internetsite van STOWA zal een link worden opgenomen naar de keuzetabel.

Om te komen tot een keuze van een methode vult de gebruiker de tweede kolom van de tabel in. In dit voorbeeld heeft de gebruiker een budget van € 150.000,- om in 6 maanden een geactualiseerde Gt-kaart te maken voor een gebied met een oppervlakte van 100.000 ha. De gebruiker wil een vlakdekkende kaart die rechtstreeks in het Waternoodinstrumentarium te gebruiken is. De gebruiker wil scenario's doorrekenen, maar is minder geïnteresseerd in fluxen. De gebruiker is van mening dat de benodigde basisgegevens op regionaal niveau goed op orde zijn. In deze situatie is het voor de hand liggend om de stochastisch gedistribueerde methode Landschapsanalyse toe te passen.

5

CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

In dit hoofdstuk zijn de voornaamste conclusies van dit verkennende onderzoek opgenomen. Daarnaast zijn aanbevelingen opgenomen. Conclusies en aanbevelingen zijn mede tot stand gekomen aan de hand van een workshop van de begeleidingscommissie en de methodeontwikkelaars. In bijlage 7 is een verslag opgenomen van de workshop.

5.1 CONCLUSIE ACTUALISATIE METHODEN GXG

Het doel van deze studie is een verkennend onderzoek naar de toepassingsmogelijkheden en beperkingen van methoden voor de actualisatie van GxG. Hiermee kunnen waterbeheerders hun beschikbare GxG-informatie naar waarde schatten of een onderbouwde keuze maken voor een bepaalde methode voor de actualisatie van GxG informatie.

Ten aanzien van deze doelstelling wordt geconcludeerd dat:

- voor de actualisatie van GxG potentieel een aantal methoden beschikbaar is
- van de geïdentificeerde potentieel beschikbare methoden maar een beperkt aantal operationeel is (ervaringen door toepassing op praktijkschaal). Het ontbreken van voldoende (ervarings/praktijk) gegevens betekent (veelal) dat onvoldoende inzicht is in de praktische bruikbaarheid van een bepaalde methode.

5.2 AANBEVELINGEN ONDERZOEK EN ONTWIKKELING

Eenzijds geven gebruikers aan dat het wenselijk is de methoden aan te passen aan de vragen die de gebruikers stellen. Anderzijds wordt door veel gebruikers opgemerkt dat er nieuwe ontwikkelingen zijn die van invloed zijn op hun vraagstelling ten aanzien van de beschikbaarheid van freatische grondwatermeetgegevens (*J. Heijkers, 2005, Stromingen 11, nummer 3*). Behalve het voortdurend verbeteren van de methoden voor gebruikers door voortschrijdend inzicht, is het blijven ontwikkelen van (nieuwe) methoden van belang.

Een en ander heeft ook te maken met de inzichten en uitgangspunten die gebruikers hanteleren. Sommigen redeneren daarbij vanuit het standpunt “meten is weten”; anderen baseren zich meer op een modelmatige benadering van de problematiek (HDSR, bijlage 8 van dit rapport).

Tijdens de workshop is naar voren gekomen dat er weinig kennis is over de nauwkeurigheid van deterministisch modellen versus de nauwkeurigheid van stochastische methoden. Er zijn voldoende indicaties dat een deterministisch model als interpolator gebruikt kan worden. Om de bruikbaarheid en nauwkeurigheid van deterministische modellen te toetsen in vergelijking met stochastische methoden is een vergelijkend onderzoek noodzakelijk. Daarbij moeten foutenvoortplanting en meetnauwkeurigheid op vergelijkbare wijze worden meegenomen. Een dergelijke vergelijking maakt het ook mogelijk om de huidige methoden aan te scherpen en te verbeteren.

Bij de vergelijking van de methoden en de discussies tijdens de workshop is naar voren gekomen dat samenwerking tussen de methodeontwikkelaars aanvullende mogelijkheden biedt. Er liggen mogelijkheden op het gebied van de tijdreeksanalyse en de interpolator.

Een belangrijke kwaliteitsfactor bij het maken van een keuze voor een bepaalde methode is de nauwkeurigheid en betrouwbaarheid. Concreet: hoe verhouden de nauwkeurigheden van de diverse methoden zich tot elkaar? Om daar een uitspraak over te kunnen doen zou een vergelijkend onderzoek moeten worden uitgevoerd. Een voorstel voor een dergelijk onderzoek is weergegeven in bijlage 8.

BIJLAGE 1

LITERATUUR

Alterra, 2003. Actualisatie grondwatertrappenkaart Waterschap Rijn en IJssel. Alterra-rapport 126.

Finke, P. et al, Beter werken met "Waterlood", Alterra rapport 267, 2001

Gaast J. van der en H. Massop (2003). Karakterisering van de freatische grondwaterstand in Nederland. Bepaling van de GxG en xG3 voor 1995 op puntlocaties. Alterra-rapport 819.

Gaast, J.W.J. van der en H. Th. L. Massop, 2005b. Het grondwaterregime als basis voor de grondwatertrap; in: H₂O, nr22, pag36-38.

Gaast J. van der, H. Massop, 2005, Stromingen 11, nummer 4., Hoe nauwkeurig is de grondwatertrap op buislocaties te bepalen.

Gaast J. van der, H. Massop, 2005. De verdroging in beeld met historische en actuele grondwatertrappen op basis van karteerbare kenmerken. H2O 14/15.

Gaast, J.W.J. van der, H.R.J. Vroon en M. Pleijter, 2006a. De grondwaterdynamiek in het waterschap Regge en Dinkel. Alterra-rapport 1335, ISSN 1566-7197. Alterra, Wageningen.

Gaast, J.W.J., H.Th.L. Massop, H..R.J. Vroon en I.G. Staritsky., 2006b. Hydrologie op basis van karteerbare kenmerken. Wageningen, Alterra-rapport 1339.

Gruijter, J.J. de, et al. Grondwater opnieuw op de kaart , Alterra rapport 915, 2004

Hermans, A.G.M., P.E.V. van Walsum, J. Runhaar & P.J.T. van Bakel (2004) Duurzame waterbeheer Landbroekerwetering; Fase 1: Modelbouw, kalibratie en bepaling van het Actueel Grond- en Oppervlaktewaterregime. Alterra-rapport 914, 2004

Heijkers, W.J.M., Opinie, Stromingen 11, nr. 3, 2005

Hoogheemraadschap Stichtse Rijnlanden, Provincie Utrecht, 2004. Offerteaanvraag: Bouw GGOR Instrumentarium HDSR-beheersgebied.

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

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

Kiestra, E. Bodemkundig-hydrologisch onderzoek voor de waardebeoordeling van de gronden in het ruilverkavelingsgebied Kromme Rijn,2003, Alterra rapport 252

Kiwa, 2004. Kiwa Waterware presenteert: Menyanthes. Leaflet 057.

Resultaten vragenlijst Rijn en IJssel, Twan Rosmalen

Runhaar, J. et al, Naar een meetnet verdroging, Alterra rapport 108, Alterra-NTIG/TNO

STOWA, Werkprogramma Waterlood 2003 – 2005

Valstar, J.R. (2001) Inverse Modelling of Groundwater Flow and Transport; PhD-Thesis, Delft University of Technology.

Von Asmuth, J.R. & M. Knotters, 2004: 'Characterising groundwater dynamics based on a system identification approach', *Journal of Hydrology*, 296(1-4), 118-134.

Von Asmuth, J. R., M. F. P. Bierkens & C. Maas, 2002: 'Transfer function noise modelling in continuous time using predefined impulse response functions, *Water Resources Research*, 38(12), 23_1-23_12.

Von Asmuth, J.R. & Maas, C., 2001: 'The method of impulse response moments: a new method integrating time series-, groundwater- and eco-hydrological modelling.' In: *Impact of Human Activity on Groundwater Dynamics* (Gehrels, J.C., Peters, N.E., Hoehn, E., Jensen, K., Leibundgut, C., Griffioen, J., Webb, B., & Zaadnoordijk, W.J.), 51-58. IAHS Publication 269, Wallingford

Von Asmuth, J.R. & M. F. P. Bierkens, in press.: 'Modeling irregularly spaced residual series as a continuous stochastic process', to be published in *Water Resources Research*.

Von Asmuth, J. R., Maas, C. & Cirkel, D. G., 2004. Tijdsreeksanalyse van grondwaterstanden nu binnen ieders bereik. *H2O*, 24, 31-33.

Von Asmuth, J. R., Bierkens, M. F. P., & Maas, C., 2002: 'Soms is weten beter dan meten (tenzij je verkeerd zit natuurlijk). Het discrete Box-Jenkins- versus het continue PIRFICT-tijdsreeksmodel, in praktijk.' *Stromingen.*; 8(1).

Von Asmuth, J. R., Maas, C., & Bierkens, M. F. P., 2001: 'Waarom doen alsof de neerslag eens per maand valt? Het discrete Box-Jenkins- versus het continue PIRFICT-tijdsreeksmodel, in theorie.' *Stromingen.* 7(4):33-44.

Vrugt, J.A. (2004) Towards improved treatment of parameter uncertainty in hydrologic modelling; PhD-Thesis, University of Amsterdam.

BIJLAGE 2

METHODEONTWIKKELAARS EN GEBRUIKERS

BENADERDE METHODEONTWIKKELAARS

Methodiek ontwikkelaars die benaderd zijn:

- Tom Hoogland van Alterra;
- Jacco van der Gaast Alterra
- Kees Maas van KIWA;
- Jos von Asmuth KIWA
- Joost Heijkers van het hoogheemraadschap Stichtse Rijnlanden;
- Mark Bierkens van de Universiteit Utrecht.

BENADERDE GEBRUIKERS VAN REEDS UITGEVOERDE ACTUALISATIES

Gebruikers die benaderd zijn:

- Jacques Esenkbrink van waterschap Reest en Wieden;
- Jacques Peerboom van waterschap Peel en Maasvallei;
- Mark van der Wouw van waterschap de Dommel;
- Sjon Monincx van waterschap Regge en Dinkel;
- Twan Rosmalen van waterschap Rijn en IJssel;
- Edo Biewinga van het ministerie van LNV.

BIJLAGE 3

VRAGEN

De vragenlijst voor het vergelijken van de methoden bestaat uit onder meer de volgende aspecten:

- korte beschrijving methode;
- nauwkeurigheid methode;
- multi-inzetbaarheid methode;
- benodigde basisgegevens;
- afhankelijkheden van bijvoorbeeld specifieke modellen;
- kosten uitvoeren methode;
- kosten actualisatie;
- doorlooptijd voor uitvoering;
- multi-uitvoerbaarheid door meerdere personen of instanties;
- advies voor toekomstige actualisaties.

De vragenlijst voor het evalueren van de reeds uitgevoerde actualisaties bestaat uit onder meer de volgende aspecten:

- doel actualisatie;
- schaalniveau actualisatie;
- benodigde nauwkeurigheid actualisatie;
- welke basisgegevens zijn gebruikt;
- beschikbaarheid basisgegevens;
- kosten uitvoering actualisatie;
- is actualisatie eenvoudig mogelijk;
- doorlooptijd actualisatie;
- gebruikte methode;
- wie heeft de actualisatie uitgevoerd;
- advies voor toekomstige actualisaties.

BIJLAGE 4

SAMENVATTING KENMERKEN METHODEN

Soort	Veldkartering	Deterministische methode: gedistribueerde methode
Naam	Gt veldkartering	Deterministisch, gedistribueerde methoden via SIMGR0, MODFLOW, MicroFEM, TRIWACO
Doel	Actualiseren van de grondwatertrappen in combinatie met bodemkartering.	Bepalen actuele GxG Bepalen voorspelde grond- en oppervlaktewaterregime (VGOR).
Methode	Gt-kartering wordt gedaan door intensief veldwerk uit te voeren naar bodemtype en hydromorfe kenmerken, waarbij o.a. rekening wordt gehouden met vegetatie, ontwateringssituatie, landgebruik en landschap. De hydromorfe kenmerken en opnamereeksen van grondwaterniveaus worden met elkaar gecorreleerd om vlakdekkende informatie te verkrijgen. In het veld worden kaarteenheden begrensd en geklassificeerd op zowel Gt als bodetype	Bij deze methode wordt voor het bepalen van de GxG - parameters gebruik gemaakt van een deterministisch model. Als de interactie tussen grond- en oppervlaktewater interactief meegenomen moet worden, is SIMGR0 een bruikbare ruimtelijke interpolator. De parameters worden afgeleid uit modelberekeningen.
Resultaat	Kaartbeeld met geactualiseerde grondwatertrappen en bodemkaart.	Het resultaat bestaat uit een ruimtelijk beeld van de GxG.
Detailniveau / nauwkeurigheid	Groot detailniveau bij een kartering op een schaal 1:10.000, de landsdekkende bodem en Gt-kaart 1:50.000 is minder gedetailleerd	Elk gewenste detailniveau is mogelijk, afhankelijk van de beschikbare input.
Scenario's	N.v.t.	De interpolator is een numeriek model waarmee ook scenario's in het waterbeheer kunnen worden doorgerekend.
Doorlooptijd	Maatwerk, afhankelijk van detailniveau en gebiedsgrootte	Afhankelijk van gewenste detailniveau en beschikbare input neemt de modelbouw enkele maanden in beslag en de analyses van de uitkomsten enkele weken.
Beschikbaarheid gegevens	Enkele langlopende meetreeksen in peilbuizen aangevuld met extra tijdelijke peilbuizen en een zeer hoge dichtheid van veldschattingen en gerichte opnamen in boorgaten	Grondwatertijdreeksen, bodem- en ondergrondgegevens, neerslag, verdamping en gegevens oppervlaktewatersysteem
Bepalen fluxen	N.v.t.	De interpolator is een numeriek model waarmee ook fluxen kunnen worden berekend.

Stochastische methode: tijdreeksanalyse	
Menyanthes	
Doel	Beschrijven van de grondwaterdynamiek (Niet primair ontwikkeld voor uitvoeren van vlakdekkende GxG-act.
Methode	De grondwaterdynamiek wordt beschreven met een (toegankelijke) methode gebaseerd op fysische relaties en statistische analyses. De software kan aanvullende gegevens in excel format inlezen (DAWACO, DINO, TRG) Door middel van de methode worden de meetreeksen per meetpunt geanalyseerd.
Resultaat	Diverse kenmerken van de tijdreeks zoals duurtijnen, regimecurve, GxG-waarden en ligging van de meetpunten in x, y en z. Ook kunnen tijdreeksen gemodelleerd worden. Op basis van tijdreeksmodellen kunnen klimaatrepresentatieve GxG-waarden worden berekend. Daarbij kunnen variabelen zoals neerslag, verdamping en onttrekkingshoeveelheden. worden ingevoerd en meegenomen in de bewerking
Detailniveau / nauwkeurigheid	Puntwaarden; niet vlakdekkend. De mate van nauwkeurigheid wordt in de tijdreeksanalyse gepresenteerd.
Scenario's	Bepaalde ingrepen zijn door te rekenen, waaronder bijvoorbeeld stopzetting grondwaterwinning, verandering in verdamping en verandering oppervlaktewaterpeil.
Doorlooptijd	Afhankelijk van het aantal te analyseren reeksen. In enkele weken tot maanden kunnen grote aantallen gegevens worden geanalyseerd.
Beschikbaarheid gegevens	Grondwatermeetreeksen
Bepalen fluxen	N.v.t.

	Hybride methoden	Hybride methoden
	Analytische Gd-kartering	Eenvoudige neerschalingmethodemethode
Doel	Het ruimtelijk bepalen van de GxG.	Het vlakdekkend in kaart brengen van de GxG en de bijbehorende Gt.
Methode	<p>De analytische Gd-karteringsmethode is gebaseerd op tijdreeksanalyse, analytische elementen (een grondwatermodelleringsmethode) en geo-statistiek. Tijdreeksanalyse wordt gebruikt om op puntniveau de impulsresponsfuncties van het grondwatersysteem af te leiden. De hydrologisch relevante 'objecten' in een gebied worden vervolgens omgezet in analytische elementen (lijnbron, onttrekking, etc.) en ingezet als ruimtelijke interpolator.</p> <p>Verschil met 'normale' Gd-karteringen is dat hierbij de impulsresponsfuncties geïnterpoleerd worden, en niet de GxG. Op basis van de impulsresponsfuncties kunnen, net als bij een tijdreeksmodel, grondwaterstandsreeksen gegenereerd worden, die op hun beurt omgezet worden in klimaatrepresentatieve GxG waarden of andere Gd-karakteristieken.</p>	<p>Op basis van de bodemkaart 1:50 000, het AHN (25 m-grid) en grondwaterstandsinformatie op puntlocaties in de vorm van een steekproef wordt de GxG geactualiseerd. De informatie uit de steekproef wordt omgezet naar een kansverdeling per Gt. Daarnaast wordt voor ieder kaartvlak van de bodemkaart een kansverdeling voor het maaiveld gemaakt. Door de kansverdeling voor de maaiveldhoogte binnen een Gt-vlak op de bodem- en Gtkaart schaal 1 : 50 000 te transformeren naar een kansverdeling voor de bijbehorende GxG, is een kaart te maken van de GxG. Op deze manier is op een eenvoudige wijze een neerschaling van de Gt naar gridcellen van 25 meter bewerkstelligd. Er is een landsdekkend bestand met deze methode vervaardigd, deze kaart is inmiddels beschikbaar.</p> <p>De kaart is in het kader van een onderzoek in het beheergebied van Waterschap Regge en Dinkel gevalideerd en heeft een gebruiksschaal van naar schatting 1:50.000. Aangezien de kaart ten opzichte van andere methoden redelijk nauwkeurig is en de patrooninformatie van de Gt goed beschreven wordt, is de kaart breed toepasbaar.</p> <p>Voorstellen voor verbeteringen van de techniek zijn nader uitgewerkt in het kader van het onderzoek in het beheergebied van Waterschap Regge en Dinkel (van der Gaast et al., 2006). In een vervolgstap is het mogelijk om per gridcel op basis van tijdreeksanalyse een tijdreeks van de grondwaterstand te genereren, waardoor naast de GxG ook duurlijnen en daggemiddelde regimecurves, en afvoerreeksen beschikbaar komen.</p>
Resultaat	Vlakdekkende GxG.	Vlakdekkende GxG
Detailniveau / nauwkeurigheid	<p>Omdat analytische methoden continu zijn, is er - anders dan bij numerieke methoden - geen sprake van een begrensde discreetste of resolutie. Het grondwatervlak kan tot in detail worden ingezoomd. Zodra men het grondwatervlak echter om wil zetten naar een grondwaterstanddiepte (zoals bij vlakdekkende GxG) is het hoogtebestand beperkend (voor het AHN maximaal 5*5 meter). Er is (natuurlijk) wel sprake van een begrensde nauwkeurigheid. Deze wordt gebiedsdekkend gekwantificeerd met behulp van geostatistische technieken. Bij deze methode wordt het schaalniveau van 1:50.000 gehaald. Gezien de methode gaan de hydrologische structuren deels verloren.</p>	<p>Detailniveau tussen de 1:50.000 en 1:25.000. Indien gewenst kan de betrouwbaarheid van deze GxG worden ingeschat.</p>
Scenario's	Behoort tot de mogelijkheden.	N.v.t.
Doorlooptijd	3 maanden.	Methode is landsdekkend uitgevoerd (schaal 1:50.000, verbeteringen zijn tegen een nog nader te bepalen bedrag mogelijk).
Beschikbaarheid gegevens	Meetreeksen van grondwaterstanden uit DINO of eigen database, neerslag en verdamping, hoogtebestand (AHN), ligging en peilen waterlopen, sloten, onttrekkingen, eventueel kennis van ingrepen, ondergrond.	AHN, bodemkaart, topografische kaart, grondgebruik, meetreeksen grondwaterstanden.
Bepalen fluxen	Behoort tot de mogelijkheden.	N.v.t.

Hybride methoden	
Pragmatische aanpak Hoogheemraadschap Stichtse Rijnlanden	
Doel	Een vlakdekkend, actueel beeld van de GxG.
Methode	<p>Een relatief eenvoudig methode, die (naar verwachting) een globaal beeld verschaft is de volgende:</p> <p>Stratificeer je beheersgebied op basis van:</p> <p>Hoofdbodemtypen (veen, klei, klei op veen, klei op zand, zand);</p> <p>Gt-klassen (nat, droog, intermediair).</p> <p>Zoek per stratum zo veel mogelijk representatieve freatische meetpunten.</p> <p>Bepaal voor die meetlocaties de huidige GxG, bijv. met behulp van tijdreeksanalyse (bijvoorbeeld Menyanthes of Vidente).</p> <p>Als de tijdsreeksen lang genoeg zijn (circa > 5 jaar) kan het eventueel ook zonder toepassing van tijdreeksanalyse.</p> <p>Vergelijk deze GxG met de GxG van de strata en stel vast of er al dan niet sprake is van significante discrepanties.</p> <p>Corrigeer die laatste (indien noodzakelijk) m.b.v. de waarde van de GxG-schatting op basis van de tijdreeksanalyse.</p> <p>Indien er geen stambuizen te vinden zijn, kan een inschatting worden gemaakt op basis van de daling in andere strata, en de redenen waarom die daar is opgetreden (of niet) en ga na of die redenen ook geldig zijn in het 'onbemeten' stratum.</p>
Resultaat	Vlakdekkend, actueel beeld van de GxG.
Detailniveau / nauwkeurigheid	1: 50.000; de nauwkeurigheid is afhankelijk van de nauwkeurigheid van het tijdreeksmodel.
Scenario's	N.v.t.
Doorlooptijd	Sterk afhankelijk van het te karteren gebied, gemiddeld 2 maanden.
Beschikbaarheid gegevens	Bodemkaart 1:50:000 en grondwaterstandsmetingen van minimaal 2 jaar (DINO) en neerslag- en verdampingsreeksen (via KNMI).
Bepalen fluxen	N.v.t.

BIJLAGE 5

BESCHRIJVINGEN METHODEN

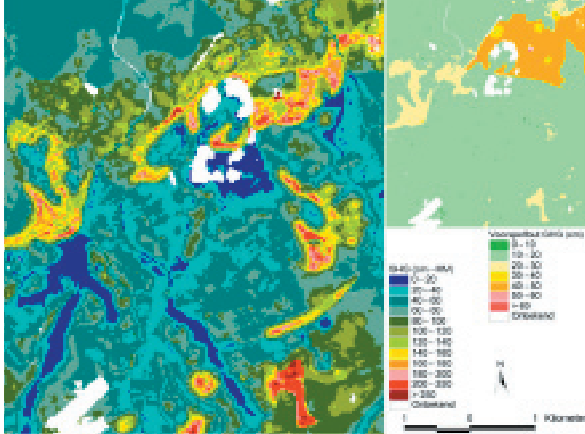
GRONDWATERTRAPPEN VOLGENS CULTUURTECHNISCH VADEMECUM, 2000

In de ene bodem staat het grondwater gemiddeld hoger dan in de andere. Daarmee is ook de grondwaterstand en het verloop ervan kenmerkend voor een bodem. Als kenmerk van de grondwaterstandfluctuatie in een bodem worden de gemiddeld hoogste grondwaterstand (GHG) en gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG) gebruikt. Daarnaast wordt voor vele bodemgeschiktheidsbeoordelingen gewerkt met de gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand (GVG). Dat is de gemiddelde grondwaterstand rond 15 maart. Om het grondwaterstandverloop binnen een gebied weer te geven, worden de mogelijke combinaties van GHG en GLG tot een klasse gecombineerd. Die klassen worden grondwatertrappen genoemd.

GRONDWATERTRAPPEN VOLGENS STIBOKA BODEMKAART 1:50.000

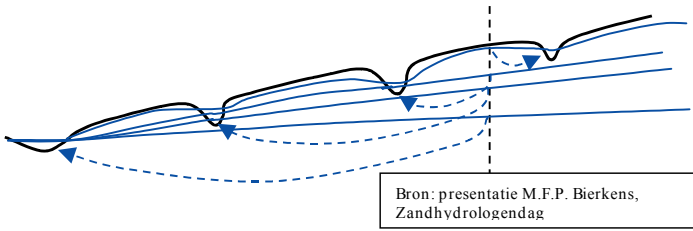
De jaarlijkse fluctuatie van het grondwater laat zich beschrijven door middel van grondwatertrappen. Behalve de hydrologische situatie wordt de jaarlijkse fluctuatie ook bepaald door bodemfysische eigenschappen. Een karakterisatie van de jaarfluctuatie laat zich berekenen door van een periode van 8 jaar de fluctuaties te middelen. Hiervoor zijn per jaar meetreeksen met grondwaterstanden nodig die om de veertien dagen gemeten zijn. Het rekenkundig gemiddelde over de drie hoogste en de drie laagste waarnemingen per hydrologisch jaar worden gemiddeld tot de HG3 en de LG3. Het rekenkundig gemiddelde van respectievelijk 8 jaren HG3 en LG3 geeft de GHG en GLG van het betreffende meetpunt.

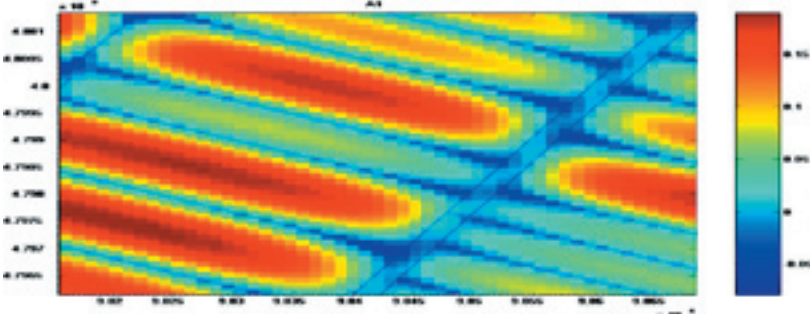
De vertaling naar kaartvlakken vereist een indeling in klassen, de zogenaamde grondwatertrappen. De kartering van kaartvlakken gebeurt enerzijds met berekende GHG en GLG waarden van meetreeksen op punten en anderzijds door kennis over het verband tussen meetreeksen en profielkenmerken te combineren. De combinatie tussen meetreeksen en profielkenmerken wordt met behulp van regressieanalyse gedaan. De ruimtelijke toedeling van GxG, Gt- en bodemtype aan kaartvlakken gebeurt tijdens de veldkartering.

	Methode	Gd-kartering
	Organisatie	Alterra Wageningen
	Contact personen	Tom Hoogland
Nr	Onderwerp	
1	Korte beschrijving methode (inclusief toepassingsgebied)	<p>Sinds 1997 werkt Alterra aan een methode om de grondwaterdynamiek (Gd) in kaart te brengen. Deze methode om de Gd in kaart te brengen is in opdracht van waterschappen, de provincie Noord-Brabant en het ministerie van LNV toegepast om de, veelal verouderde, Gt-informatie uit de bodemkaart 1: 50.000 te actualiseren. Bij waterschappen en provincies worden Gd-kaarten gebruikt voor het vaststellen van het Actuele Grondwater Regime (AGR) en voor regionaal waterbeheer. Ook wordt de Gd-kartering toegepast voor het vaststellen van uitspoelingsgevoelige gronden in het kader van de mestwetgeving. De methode heeft als resultaat klimaatrepresentatieve waarden voor GxG. Met klimaatrepresentatief wordt bedoeld dat de hydrologische situatie wordt gekarakteriseerd op basis van meteogegevens van 30 jaar. De Gd-methode combineert gerichte veldopnames, tijdreeksanalyse en geostatistische technieken. De procedure bestaat uit meten van grondwaterstanden op representatieve momenten. Eénmaal rond het moment van GHG en éénmaal rond het moment van GLG. De veldgegevens worden gecombineerd met langjarige reeksen uit landelijke database als DINO/OLGA middels stambuisregressie. De langs deze weg verkregen puntgegevens worden gerelateerd aan gebiedsdekkende hydrologisch relevante Informatie. Waarmee vervolgens gebiedsdekkende voorspellingen van GHG, GVG, GLG, regimecurves en duurlijnen worden gedaan</p>
		
2	Nauwkeurigheid en schaalniveau	<p>Het kaartbeeld heeft een resolutie van 25*25 meter, gelijk aan de AHN. De mate van objectiviteit is hoog omdat enkel meetgegevens worden gebruikt. De kwaliteit van het hoogtestbestand AHN is een beperkende factor voor de nauwkeurigheid. Alterra heeft dit deels ondervangen door filters op de bestanden toe te passen.</p> <p>Bij het vertalen van de puntinformatie naar ruimtelijke informatie wordt door statistische technieken de nauwkeurigheid gebiedsdekkend gekwantificeerd.</p> <p>De ruimtelijke differentiatie is met een resolutie van 25*25 meter groter dan van de STIBOKA bodemkaart 1:50.000.</p>
3	Multi-toepasbaarheid	De methode is nu nog gericht op het bepalen van de grondwaterdynamiek. Er zit namelijk geen deterministisch hydrologisch model achter maar alleen meetreeksen. Scenario's doorrekenen behoort nog niet tot de mogelijkheden.
4	Informatie behoefte, basisgegevens	<p>Meetreeksen van grondwaterstanden uit landelijke databases of eigen database en een verdicht meetnet met twee waarnemingen: op GHG en GLG moment.</p> <p>De Bodemkaart 1:50:000, Topografie (Top10Vector) en het AHN bestand, gecorrigeerd voor bebouwing en ruis.</p>
5	Afhankelijkheden	
6	Kosten uitvoeren methode	Voor gebieden vanaf 300.000 ha zijn de kosten 3,- à 4,- per hectare.
7	Kosten actualisatie	Afhankelijk van welke additionele metingen en/of databestanden worden gebruikt.
8	Doorlooptijd	Als er nog gemeten moet worden is de doorlooptijd minimaal 1 jaar vanwege de twee meetmomenten. Zijn er voldoende goede meetgegevens beschikbaar dan kan de actualisatie in 2 à 3 maanden worden uitgevoerd.
9	Multi-uitvoerbaarheid	De methode vergt specialistische kennis van tijdreeksanalyse en ruimtelijke statistiek. Inzet van Alterra is daarbij gebruikelijk maar niet noodzakelijk.
10	Flexibiliteit voor opnemen nieuwe gegevens	Nieuwe gegevensreeksen en meetwaarden kunnen bij een herhaling van de analysemethode toegevoegd worden.

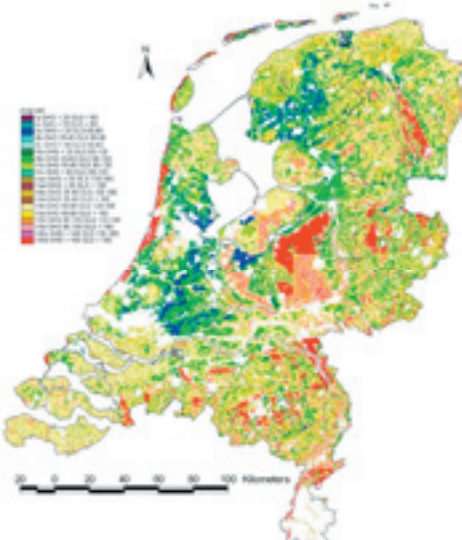
Methode	GxG bepaling m.b.v. SIMGRO
Organisatie	Hoogheemraadschap Stichtse Rijnlanden
Contact personen	Joost Heijkers
Nr	
1	Korte beschrijving methode (inclusief toepassingsgebied)
	GxG parameters worden afgeleid uit modelberekeningen. Gezien de belangrijke interactie tussen grond- en oppervlaktewater is ervoor gekozen om SIMGRO als ruimtelijke interpolator te gebruiken. Om niet voor elk afzonderlijk GGOR-project een nieuw model op te hoeven stellen, wordt voor het hele beheersgebied van HDSR een model opgezet.
2	Nauwkeurigheid en schaalniveau
	De output is een ruimtelijk beeld in een resolutie van 25*25 meter, gelijk aan AHN.
3	Multi-toepasbaarheid
	De methode is multi-toepasbaar in vele opzichten. Omdat de interpolator een SIMGRO-model is kunnen scenario's in waterbeheer worden doorgerekend. GxG parameters.
4	Informatie behoefte, basisgegevens
	Een goed werkend SIMGRO model is een vereiste. AHN is nodig om maaiveldgerelateerde analyses te doen.
5	Afhankelijkheden
	Het bouwen van de basismodellen in de GIS-omgeving AlterraAqua stelt hoge eisen aan de digitale beschikbaarheid van leggergegevens en bodeminformatie.
6	Kosten uitvoeren methode
	Toepassen model 1,- /hectare, exclusief de kosten voor het maken van een grondwatermodel.
7	Kosten actualisatie
8	Doorlooptijd
	Indien er een SIMGRO model beschikbaar is, zijn analyses van de uitkomsten in enkele weken te maken met o.a. AlterraAqua. Het bouwen van een goed SIMGRO model is veel werk en neemt enkele maanden in beslag.
9	Multi-uitvoerbaarheid
	De uitvoering van de analyses kan door een gespecialiseerde hydroloog worden uitgevoerd.
10	Flexibiliteit voor opnemen nieuwe gegevens
	Nieuwe gegevens die de modelschematisatie beïnvloeden kunnen snel met de AlterraAqua omgeving verwerkt worden tot nieuwe realisaties van de GxG parameters.

Methode	Menyanthes
Organisatie	KIWA Nieuwegein
Contact personen	Kees Maas en Jos von Asmuth
Nr	Onderwerp
1	<p>Korte beschrijving methode (inclusief toepassingsgebied)</p> <p>Het doel van Menyanthes is het beschrijven van de grondwaterdynamiek met een toegankelijke methode gebaseerd op fysische relaties en statistische analyses. De software kan gegevens uit tal van database inlezen (zoals DAWACO, DINO, TRG of Excel). De gebruiker kan diverse kenmerken van de tijdreeks presenteren waaronder duurlijnen, regime-curves, GxG-waarden en ligging van de meetpunten in x, y en z. Ook kunnen tijdreeksen gemodelleerd worden als verklarende variabelen worden ingelezen als neerslag, verdamping en onttrekkingshoeveelheden.</p> <p>Meer informatie over de achtergronden en mogelijkheden is ook te vinden op: www.hydrology.citg.tudelft.nl/asmuth/home.htm.</p>
2	<p>Nauwkeurigheid en schaalniveau</p> <p>De methode analyseert op meetpunten. De mate van nauwkeurigheid wordt in de tijdreeksanalyse gepresenteerd. Het tijdreeksmodel is gebaseerd op impuls-respons functies. De functies zijn in tegenstelling tot de Box-Jenkins methode continue functies.</p> <p>Aan een interpolatiestap voor ruimtelijke beelden wordt gewerkt. Deze is op korte termijn beschikbaar (afhankelijk van beschikbaarheid grondwatermodel).</p> <p>Een vergelijk met de klassieke STIBOKA kaarten levert per definitie andere resultaten op omdat er nu veel langere tijdreeksen beschikbaar zijn. Bovendien levert deze methode een nauwkeurige puntwaarde op terwijl de STIBOKA-kaart representatieve waarden voor een polygoon geeft.</p> <p>Een toegevoegde foutenanalyse, los van de deterministische aanpak, is mogelijk.</p>
3	<p>Multi-toepasbaarheid</p> <p>Uit meetreeksen is snel en goed af te leiden of maatregelen effect hebben. Bijvoorbeeld maatregelen in het kader van verdrogingsbestrijding of het stopzetten van een pompstation voor drinkwater.</p>
4	<p>Informatie behoefte, basisgegevens</p> <p>De tijdreeksanalyse kan met alle grondwater tijdreeksen uitgevoerd worden, ook niet equidistante.</p>
5	<p>Afhankelijkheden</p> <p>Meetpunten van voldoende kwaliteit, representativiteit en lengte zijn noodzakelijk. Dit kunnen eigen meetpunten zijn of uit landelijke databases als DINO.</p>
6	<p>Kosten uitvoeren methode</p> <p>Laag. Snelheid van werken is groot door de toegankelijke software. Indien voldoende meetreeksen beschikbaar zijn, zijn de meetkosten eveneens laag. Kosten zijn exclusief het opzetten van een grondwatermodel.</p>
7	<p>Kosten actualisatie</p> <p>De methode is niet primair ontwikkeld met het doel vlakdekkende GxG actualisaties uit te voeren. Met de ruimtelijke modules die nu ontwikkeld worden is dit wel mogelijk. Wat de kosten daarvan zijn is nog niet bekend. Een deterministisch grondwatermodel wordt daarbij ingezet als interpolator.</p>
8	<p>Doorlooptijd</p> <p>Kort, afhankelijk van het aantal te analyseren reeksen. In enkele weken tot maanden kunnen grote aantallen gegevens geanalyseerd worden.</p> <p>Een introductiecursus van een dag is voldoende om zelfstandig aan de slag te kunnen gaan.</p>
9	<p>Multi-uitvoerbaarheid</p> <p>De software is zeer gebruiksvriendelijke en kan door iedere hydroloog met verstand van zaken worden toegepast.</p>
10	<p>Flexibiliteit voor opnemen nieuwe gegevens</p> <p>De mogelijkheden om nieuwe gegevens is groot. De tijdreeksanalyse en modelleringen kunnen eenvoudig herhaald worden met aangevulde tijdseries.</p>

Methode	Methode Bierkens, Landschapsanalyse
Organisatie	Universiteit Utrecht
Contact personen	Mark Bierkens
Nr	Onderwerp
1	<p>Korte beschrijving methode (inclusief toepassingsgebied)</p> <p>Uit een landschapsanalyse worden met GIS gegevens over waterlopen en hydrogeologie gecombineerd. Uitgegaan wordt van hydrologische wetmatigheden zoals de samenhang tussen aantal watergangen op de topografische kaart, de grootte van die watergangen, bodemtype en de afwaterende functie. Bodemhoogtes van watergangen worden aan de lijnelementen van watergangen toegekend op basis van een gecorrigeerde AHN. Er wordt een "conceptueel landschapsmodel" gemaakt met bestaande kaarten waarin de relatie wordt gelegd tussen topografie en hydrologie.</p>  <p>Bron: presentatie M.F.P. Bierkens, Zandhydrologendag</p>
	<p>Elke orde watergang heeft zijn eigen drainagebasis. Met de drainagetheorie van Ernst wordt de afvoer naar verschillende orden watergangen en de grondwaterstand als tijdreeks gesimuleerd. Door in de formule van Ernst netto neerslag als reeks in te voeren en de afvoer met de drainageparameters uit te rekenen wordt voor elke tijdstap een verandering in de grondwatervoorraad berekend en daarmee een grondwaterstand. Uit deze tijdreeksen van grondwaterstanden kunnen gebiedsafvoeren GxG parameters afgeleid worden. Door de afvoeren van de verschillende ordes grondwatersystemen per gebied te sommeren kunnen gebiedsafvoeren bepaald worden. Deze kunnen vergeleken worden met gemeten afvoeren om het model te kunnen beoordelen op juistheid van de simulatie. Uit deze tijdreeksen kunnen gebiedsafvoeren en GxG parameters afgeleid worden.</p>
2	<p>Nauwkeurigheid en schaalniveau</p> <p>De nauwkeurigheid voor grondwaterstand is een RMSE van 46 cm. Deze methode is daarmee de minst nauwkeurige door weinig puntgegevens.</p>
3	<p>Multi-toepasbaarheid</p> <p>De methode is ongeschikt om scenario's mee door te rekenen.</p>
4	<p>Informatie behoefte, basisgegevens</p> <p>AHN Waterlopenbestand Neerslagreeks Meetreeksen grondwater en/of afvoer voor ijking</p>
5	<p>Afhankelijkheden</p>
6	<p>Kosten uitvoeren methode</p> <p>€ 20.000,- + € 0,10 per hectare</p>
7	<p>Kosten actualisatie</p>
8	<p>Doorlooptijd</p> <p>1 maand tot 2 maanden</p>
9	<p>Multi-uitvoerbaarheid</p> <p>Iedere hydroloog die goed met GIS kan omgaan kan deze methode uitvoeren</p>
10	<p>Flexibiliteit voor opnemen nieuwe gegevens</p> <p>Nieuwe ijkingsgegevens kunnen eenvoudig worden toegevoegd. De rekensessie moet dan opnieuw worden uitgevoerd.</p>

Methode	Analytische GD-kartering
Organisatie	Kiwa
Contact personen	Jos von Asmuth, Kees Maas
Nr	Onderwerp
1	<p>Korte beschrijving methode (inclusief toepassingsgebied)</p> <p>De basis van de analytische GD-karteringsmethodiek ligt in de zogeheten momentenmethode (Maas, 1995, von Asmuth en Maas, 2001). Recent is de ruimtelijke component daarvan verder uitontwikkeld en toegepast in een tweetal projecten (voor Rijkswaterstaat en een Waterleidingbedrijf). De analytische GD-karteringsmethodiek is gebaseerd op tijdreeksanalyse, analytische elementen (een grondwatermodelleringsmethode), en geostatistiek. Tijdreeksanalyse wordt gebruikt om op puntniveau de impulsresponsfuncties van het grondwatersysteem af te leiden. De hydrologisch relevante 'objecten' in een gebied worden vervolgens omgezet in analytische elementen (lijnbron, onttrekking, etc.) en ingezet als ruimtelijke interpolator. Verschil met 'normale' GD-karteringen is dat hierbij de impulsresponsfuncties geïnterpoleerd worden, en niet de GxG. Op basis van de impulsresponsfuncties kunnen, net als bij een tijdreeksmodel, grondwaterstandsreeksen gegenereerd worden, die op hun beurt omgezet worden in klimaatrepresentatieve GxG waarden of andere GD-karakteristieken.</p>
2	<p>Nauwkeurigheid en schaalniveau</p> <p>Omdat analytische methoden continu zijn is er, anders dan bij numerieke methoden, geen sprake van een begrensde discretisatie of resolutie. Het grondwatervlak kan tot in detail worden ingezoomd (zie onder). Zodra men het grondwatervlak echter om wil zetten naar een grondwaterstandsdiepte (zoals bij vlakdekkende GxG) is het hoogtebestand beperkend (voor het AHN maximaal 5*5 meter). Er is (natuurlijk) wel sprake van een begrensde nauwkeurigheid. Deze wordt gebiedsdekkend gekwantificeerd met behulp van geostatistische technieken.</p> <p>Detail uit kartering:</p> 
3	<p>Multi-toepasbaarheid</p> <p>De methode is in opzet flexibel. Scenario's zoals de grondwaterstand bij verschillende polderpeilen, onttrekkingsregimes, klimaatsverwachtingen en -scenario's, etc. kunnen met behulp van de gebiedsdekkende beschikbare impulsresponsfuncties snel doorgerekend worden. Dit maakt de methode geschikt voor operationeel waterbeheer. Omdat fysisch-deterministische methoden (analytische elementen), en geen statistische, worden gebruikt voor de ruimtelijke interpolatie kunnen ingrepen in het watersysteem zoals de aanleg van sloten of drainage ook worden doorgerekend. Hiermee is de methode ook voor strategisch waterbeheer inzetbaar.</p>
4	<p>Informatie behoefte, basisgegevens</p> <p>Meetreeksen van grondwaterstanden uit DINO of eigen database, neerslag en verdamping, Hoogtebestand (AHN), Ligging en peilen waterlopen, sloten, onttrekkingen, eventueel kennis van ingrepen, ondergrond.</p>
5	<p>Afhankelijkheden</p> <p>De methode is een mix van gebruik van meetdata en hydrologische kennis, zodat voldoende grondwaterstandsmeetpunten beschikbaar dienen te zijn. In de analyses kunnen echter allerlei hydrologische invloeden en ingrepen meegenomen worden, zodat in de praktijk een groot deel van de meetreeksen in DINO bruikbaar blijkt (70-90%).</p>
6	<p>Kosten uitvoeren methode</p> <p>Op aanvraag beschikbaar (maatwerk)</p>
7	<p>Kosten actualisatie</p>
8	<p>Doorlooptijd</p> <p>Circa 3 maanden.</p>
9	<p>Multi-uitvoerbaarheid</p> <p>Op dit moment is de inzet van Kiwa nog noodzakelijk. Het is de ambitie om de methode op te nemen in gebruiksvriendelijke software, zodat die door iedere hydroloog met verstand van zaken kan worden toegepast.</p>
10	<p>Flexibiliteit voor opnemen nieuwe gegevens</p> <p>Nieuwe reeksen of een verandering van de hydrologische elementen kunnen snel worden opgenomen, en omgezet in een vernieuwd grondwatervlak.</p>

Methode	Pragmatische aanpak Hoogheemraadschap Stichtse Rijnlanden
Organisatie	Hoogheemraadschap Stichtse Rijnlanden
Contact personen	Joost Heijkers
Nr	Onderwerp
1	<p>Korte beschrijving methode (inclusief toepassingsgebied)</p> <p>Een vlakdekkend, actueel beeld van de GxG.</p> <p>Er bestaan een heel stel methoden om een vlakdekkend, actueel beeld te krijgen van de GxG. Een relatief eenvoudig methode, die (naar verwachting) toch een aardig, doch globaal beeld verschaft is de volgende:</p> <ul style="list-style-type: none"> * Stratificeer je beheersgebied op basis van: <ul style="list-style-type: none"> - Hoofdbodemtypen (veen, klei, klei op veen, klei op zand, zand); - 3 Gt-klassen (nat, droog, intermediair); * Zoek per stratum zo veel mogelijk representatieve freatische meetpunten; * Bepaal voor die meetlocaties de huidige GxG, bv. met behulp van tijdreeksanalyse (Menyanthes en Vidente zijn eenvoudig inzetbare, goedkope softwarepakketten). Als de tijdsreeks lang genoeg zijn (> 5 jaar gemiddeld gesproken, maar dit verschilt per gebied) kan het ook zonder toepassing van tijdreeksanalyse, maar dit is niet aan te raden!; * Vergelijk deze GxG met de GxG van de strata en stel vast of er al dan niet sprake is van significante discrepanties; * Corrigeer die laatste (indien noodzakelijk) m.b.v. de waarde van de GxG-schatting op basis van de tijdreeksanalyse; <p>Indien er geen stambuizen te vinden zijn, kan een inschatting worden gemaakt op basis van de daling in andere strata, en de redenen waarom die daar is opgetreden (of niet) en ga na of die redenen ook geldig zijn in het 'onbemeten' stratum (bv. een ruilverkaveling of grondwaterwinning).</p>
2	Nauwkeurigheid en schaalniveau 1: 50.000; de nauwkeurigheid is afhankelijk van de nauwkeurigheid van het tijdreeksmodel.
3	Multi-toepasbaarheid De methode is ongeschikt om scenario's mee door te rekenen.
4	Informatie behoefte, basisgegevens Bodemkaart 1:50.000 en grondwaterstandsmetingen van minimaal 2 jaar, neerslag en verdampingsreeksen.
5	Afhankelijkheden
6	Kosten uitvoeren methode
7	Kosten actualisatie
8	Doorlooptijd Sterk afhankelijk van het te karteren gebied.
9	Multi-uitvoerbaarheid Goed door een specialist uit te voeren.
10	Flexibiliteit voor opnemen nieuwe gegevens

Methode	Eenvoudige neerschalingmethode
Organisatie	Alterra, Wageningen Universiteit
Contact personen	Jaco van der Gaast
	Bron: Van der Gaast et al., 2005; Van der Gaast et al., 2006
Nr	Onderwerp
1	<p>Korte beschrijving methode (inclusief toepassingsgebied)</p> <p>Het vlakdekkend in kaart brengen van de GxG en de bijbehorende Gt. Op basis van de bodemkaart 1:50 000, het AHN (25 m-grid) en grondwaterstands informatie op puntlocaties in de vorm van een steekproef wordt de GxG geactualiseerd. De informatie uit de steekproef wordt omgezet naar een kansverdeling per Gt. Daarnaast wordt voor ieder kaartvlak van de bodemkaart een kansverdeling voor het maaiveld gemaakt. Door de kansverdeling voor de maaiveldhoogte binnen een Gt-vlak op de bodem- en Gtkaart schaal 1 : 50 000 te transformeren naar een kansverdeling voor de bijbehorende GxG, is een kaart te maken van de GxG. Op deze manier is op een eenvoudige wijze een neerschaling van de Gt naar gridcellen van 25 meter bewerkstelligd. Er is een landsdekkend bestand met deze methode vervaardigd, deze kaart is inmiddels beschikbaar. De kaart is in het kader van een onderzoek in het beheergebied van Waterschap Regge en Dinkel gevalideerd en heeft een gebruiksschaal van naar schatting 1:50.000. Aangezien de kaart ten opzichte van andere methoden redelijk nauwkeurig is en de patrooninformatie van de Gt goed beschreven wordt, is de kaart breed toepasbaar.</p> <p>Voorstellen voor verbeteringen van de techniek zijn nader uitgewerkt in het kader van het onderzoek in het beheergebied van Waterschap Regge en Dinkel (van der Gaast et al., 2006). In een vervolgstap is het mogelijk om per gridcel op basis van tijdreeksanalyse een tijdreeks van de grondwaterstand te genereren, waardoor naast de GxG ook duurlijnen en daggemiddelde regimecurves, en afvoerreeksen beschikbaar komen.</p>
	
2	<p>Nauwkeurigheid en schaalniveau</p> <p>Detailniveau 1:50.000 en na een verbeteringslag 1:25.000. Validatie heeft aangetoond dat de GxG ten opzichte van andere methoden nauwkeurig is, de patronen goed weergeeft en aansluit bij de praktijk.</p>
3	<p>Multi-toepasbaarheid</p> <p>De methode is ongeschikt om scenario's mee door te rekenen, na koppeling met tijdreeksanalyse is dit wel mogelijk</p>
4	<p>Informatie behoefte, basisgegevens</p> <p>AHN, bodemkaart, steekproef in de vorm van traditionele veldschattingen.</p>
5	<p>Afhankelijkheden</p> <p>Afhankelijk van kwalitatief goede puntinformatie,</p>
6	<p>Kosten uitvoeren methode</p> <p>Methode is landsdekkend uitgevoerd, verbeteringen zijn tegen een nog nader te bepalen bedrag mogelijk.</p>
7	<p>Kosten actualisatie</p> <p>Nader te bepalen</p>
8	<p>Doorlooptijd</p> <p>Methode is landsdekkend beschikbaar. Voor verbeteringslagen is de doorlooptijd in hoge mate afhankelijk van de gebiedsgrootte. Voor een waterschapsgebied is de doorlooptijd naar schatting een half jaar</p>
9	<p>Multi-uitvoerbaarheid</p> <p>Verbeteringen van de methode vragen invoer die verzameld moet worden door ervaren bodemkundigen</p>
10	<p>Flexibiliteit voor opnemen nieuwe gegevens</p> <p>Nieuwe informatie kan snel worden verwerkt.</p>

BIJLAGE 6

SAMENVATTENDE TABEL ERVARINGEN

Wat is het doel van de actualisatie?	Nieuwe GT-kaart Grondwaterdynamiek Effecten van inrichtingsvarianten Kostentoedeling Mestbeleid Verdrogingsbestrijding
Voor welk(e) gebied(en) is de methode toegepast?	Gehele beheersgebied
Welke methode is toegepast bij de actualisatie?	Alterra
Door wie is de actualisatie uitgevoerd?	Alterra
Welke gegevens zijn noodzakelijk voor het uitvoeren van de methode?	Veel basisgegevens, specifiek wordt genoemd: <ul style="list-style-type: none"> ▪ AHN
Welke gegevens zijn wenselijk?	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Hydrologisch homogene gebieden ▪ Gemeten grondwaterstanden ▪ Veldmetingen
Zijn alle gegevens (eenvoudig) beschikbaar? En in het juiste formaat?	Veldmetingen vaak nog niet volledig
Is er sprake van afhankelijkheden? En welke zijn dat?	Meetdichtheid grondwaterstanden
Wat is het schaalniveau van de actualisatie?	Schaalniveau afhankelijk van opnamedichtheid grondwaterstanden. Over het algemeen 1:25.000 en voor enkele gebieden is 1:10.000 mogelijk. In de praktijk blijkt dat het detailniveau in enkele gevallen ligt bij een schaal van 1:100.000
Wat is de verkregen nauwkeurigheid van het eindresultaat?	Nauwkeurigheid afhankelijk van opnamedichtheid grondwaterstanden Afwijkingen ter plaatse van: <ul style="list-style-type: none"> ▪ gebieden met een sterke gradiënt ▪ natuurgebieden (resolutie kleiner vereist) ▪ beekdalen (waarnemingsdichtheid) ▪ stedelijke gebieden ▪ veenweide gebieden
Wat is de uitvoeringstermijn van de actualisatie? En welke uitvoeringstermijn is wenselijk?	tot ruim 2 jaar wenselijk: 1 jaar
Hoe gebruikersvriendelijk is de gebruikte methode? Hoe transparant is bijvoorbeeld de rekentechnische achtergrond?	Eindresultaat: <ul style="list-style-type: none"> ▪ geeft inzicht in onnauwkeurigheden Methode: <ul style="list-style-type: none"> ▪ statistische achtergrond ingewikkeld ▪ veel kennis geostatistiek noodzakelijk
Is er sprake (geweest) van een eigen inbreng of eigen productie? En wat heeft deze ingehouden?	Aanleveren gegevens Gebiedskennis Controle van tussen- en eindresultaat
Is de methode door iedereen toe te passen? Of is het noodzakelijk om een bepaald instituut of adviesbureau in te schakelen?	Waarschijnlijk niet, omdat specifieke kennis noodzakelijk is Het is nu noodzakelijk om de actualisatie door Alterra uit te laten voeren
Is de methode op meerdere locaties toe te passen?	Ja en nee. Ja, zowel voor poldergebieden als vrij afwaterende gebieden Nee, bepaalde gebieden is de onnauwkeurigheid vrij groot
Is het resultaat bruikbaar? En waarom wel of niet?	De ervaringen zijn sterk wisselend.

Als er extra gegevens/informatie beschikbaar komt, moet de gehele actualisatie opnieuw uitgevoerd worden of is de methode flexibel?	Gehele proces moet weer worden doorlopen. Waarschijnlijk kunnen reeds gemaakte algoritmen opnieuw worden gedraaid (semi-geautomatiseerd). In hoeverre het proces geautomatiseerd doorlopen kan worden is niet bekend. Inschatting is dat een actualisatie circa 10% van het oorspronkelijk bedrag kost met een doorlooptijd van 0,5 jaar. Wens: 1 keer per 10 jaar actualiseren is genoemd
Welke kosten zijn gemaakt voor het uitvoeren van de actualisatie?	tussen circa € 120.000 en € 300.000
Zijn er verbeteringen die (aan de gebruikte methode) kunnen worden toegevoegd?	Meer tijdreeksen gebruiken. Koppeling met een deterministisch model (koppelen met grondwatermodel, ook noodzakelijk voor doorrekenen scenario's).
Wat zijn belangrijke aandachtspunten voor toekomstige actualisaties?	Vooraf inventariseren hoeveel meetpunten gebruikt kunnen worden, dit levert vooraf inzicht in de nauwkeurigheid.
Welk advies zou u geven voor toekomstige actualisaties?	Controleren of er voldoende waarnemingspunten zijn en wat dan de haalbare nauwkeurigheid is. Meer duidelijkheid over toepasbaarheid.
Welk advies zou u geven aan de methode ontwikkelaars?	Communiceer met opdrachtgevers. Geautomatiseerde actualisatie mogelijk maken. In vroegtijdig stadium inzicht geven over toepasbaarheid en haalbare nauwkeurigheid. Wat te doen met de statistische onzekerheid?
Opmerkingen:	Deterministische methode toevoegen?

BIJLAGE 7

WORKSHOP

Het doel van de workshop is overeenstemming krijgen over de toepassingsmogelijkheden van de verschillende methoden, de wensen van de toekomstige gebruikers in beeld brengen en het samenstellen van een advies voor toekomstige actualisaties.

De workshop was vooral een dialoog tussen enerzijds gebruikers uit voornamelijk de waterschappen en anderzijds methodeontwikkelaars van de verschillende instituten en universiteit. Centraal punt in de dialoog blijkt het achterhalen wat nu precies de vraag is die gebruikers stellen wanneer ze op zoek zijn naar een methode om GxG parameters te actualiseren.

Tijdens de workshop is aandacht geschonken aan:

- het in beeld brengen van de gebruikersvraag;
- een vergelijking van de methoden en hoe deze methoden in te zetten;
- toekomstige ontwikkelingen.

GEBRUIKERSVRAAG

In de praktijk van gebruikers ligt het karteren van GxG dicht aan tegen het doorrekenen van inrichtingsvarianten en beheersscenario's. Dit is verklaarbaar omdat het doorrekenen van scenario's vaak de drijfveer vormt om aan een GxG kartering te beginnen. Vaak zijn inrichting volgens "Waterlood" en de toetsing aan nieuwe waterbeheersingsnormen aanleiding om de basisgegevens te actualiseren. Tegelijk vragen de nieuwe inrichtingsmethoden en waterbeheersingsnormen om een toetsingsmethode. Deze toetsingsmethode moet ruimtelijke gegevens en rekenmodellen combineren op een wijze die erg veel lijkt op de rekentechnieken in veel karteringsmethoden. Bovendien wil een waterschap ook graag kunnen beoordelen of de ontwerpdoelen ook gehaald worden.

Verschiedende methoden bieden in het huidige stadium van ontwikkeling al de mogelijkheid om scenario's door te rekenen, de andere methoden kunnen dat in de toekomst vrijwel allemaal ook.

WENSEN VAN GEBRUIKERS

Vanuit gebruikersperspectief wordt belang gehecht aan het benutten van de verschillende karteringsmethoden door elkaars sterktes te benutten en door samenwerking te zoeken.

Er is een duidelijke wens om ook scenario's door te kunnen rekenen om de effecten van maatregelen op de GxG te kunnen berekenen.

Deze resultaten zijn noodzakelijk voor de invoer in het Waterlood Instrumentarium. Door bij de actualisatie al gebruik te maken van een deterministisch model kan het doorrekenen van scenario's als vervolgstap op de actualisatie worden uitgevoerd. Een toetsing van de haalbare nauwkeurigheid van een deterministisch model heeft nog niet plaatsgevonden. Er is daardoor bij de gebruikers en de methodeontwikkelaars nog geen inzicht in de bruikbaarheid.

VERGELIJKING METHODEN

Een goede vergelijking van de methoden is niet mogelijk. Dit wordt veroorzaakt door het ontwikkelstadium waarin de methoden zich bevinden. Ervaringen in de praktijk met verschillende methoden zijn niet beschikbaar. Er zijn alleen ervaringen opgedaan met de Gd karteringen van Alterra.

Daarnaast is het van belang dat de gebruikers eerst het doel van de actualisatie en de vragen die zij hebben goed analyseren. Voor de methodeontwikkelaars geldt dat zij het doel en de gebruikersvraag weer goed analyseren, omdat de ontwikkelaars wel het inzicht hebben in methodische achtergronden wat bij veel gebruikers (nog) ontbreekt.

Bij de vergelijking van de methoden onderling staat het doel van de gebruikers centraal: Wat moet met de uiteindelijke resultaten mogelijk zijn?

Een actuele kaart met grondwatertrappen is in de praktijk vaak een opstapje naar een nieuw ontwerp voor de waterhuishoudkundige inrichting. Van een nieuwe waterhuishoudkundige inrichting wil een waterbeheerder doorgaans weten of het beoogde doel van de nieuwe inrichting ook is behaald.

Dat levert automatisch een tweede vraag op, namelijk: In welke mate draagt het nieuwe ontwerp bij aan een verbetering?

En soms zelfs een derde vraag: In hoeverre beantwoord hetgeen buiten gerealiseerd is aan de doelstellingen die aan het ontwerp (qua grondwaterstanden) zijn gesteld?

Tijdens de workshop is (wederom) duidelijk geworden dat de mogelijkheden die verschillende methoden bieden niet altijd vooraf voor de gebruikers helder zijn.

Met behulp van bijvoorbeeld een keuzetabel kan gefocust worden op een aantal hoofdgroepen van kenmerken die doorslaggevend kunnen zijn voor de inzet van een van de beschikbare methoden. Het gaat bij de keuze bijna altijd om een goede balans tussen inhoudelijke kwaliteit en kosten of doorlooptijd. Daarnaast is het voor gebruikers van belang te weten waar de methode een antwoord op kan geven en of een methode op meer manieren ingezet kan worden dan alleen voor het beantwoorden van de primaire actualisatievraag. Een belangrijk voorbeeld is het doorrekenen van scenario's.

TOEKOMSTIGE ONTWIKKELINGEN

Tijdens de workshop is naar voren gekomen dat samenwerking tussen de methodeontwikkelaars aanvullende mogelijkheden biedt. Er liggen mogelijkheden op het gebied van de tijdreeksanalyse en de interpolator.

Er is over het algemeen nog weinig wetenschappelijke kennis beschikbaar over de nauwkeurigheid van een deterministisch model. De ervaring is dat een deterministisch model als interpolator gebruikt kan worden.

Om de bruikbaarheid en nauwkeurigheid van een deterministisch model te toetsen is een vergelijking noodzakelijk van het resultaat van verschillende methoden. Daarbij moeten fouten voortplanting en meetnauwkeurigheid op vergelijkbare wijze zijn meegenomen. Zo'n vergelijking maakt het mogelijk om de huidige methoden aan te scherpen en te verbeteren.

BIJLAGE 8

HDSR-BIJDRAGE GXG-RAPPORT STOWA

INLEIDING

Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden (HDSR) werkt sinds een aantal jaren aan de bouw van een hydrologisch modelinstrumentarium waarmee de HDSR-watergebiedsplannen kunnen worden uitgewerkt. Watergebiedsplannen zijn gebiedsgerichte planprocessen in welk kader de diverse waterbeleidsthema's (Verdroging, GGOR, WB21 en KRW) integraal worden uitgewerkt. Als werkkader dient de Waternood-systematiek. Zie voor meer informatie over de watergebiedsplannen en de Waternood-systematiek o.a. Heijkers e.a. (2005) en Heijkers & Prak (2005).

Er is toen duidelijk gekozen voor een instrument dat als rekenbasis de modelcodes SIMGRO (zie Van Walsum e.a. (2004) voor een uitgebreide beschrijving) & MODFLOW (zie Harbaugh (2000) voor een uitgebreide beschrijving heeft. Deze codes zijn dynamisch gekoppeld op basis van Open-MI technologie (HarmonIT, 2005) en de modelcode SOBEK-CF is gebruikt voor de aanmaak van SIMGRO-(Q)-h relaties, de zgn. meta-model aanpak die de rekentijden aanzienlijk reduceert. Zie verder Veldhuizen e.a. (2006) voor een nadere beschrijving van de koppeling en Van Walsum & Groenendijk (2006) voor een mee ruitgebreide beschrijving van het meta-modelleringsconcept.

De voordelen van deterministische technieken (t.o.v. statistische methoden) zijn ons inziens:

- I. Ze zijn gebaseerd op fysische, parametrizeerbare relaties, waardoor de noodzaak tot stochastische simulatie verdwijnt;
- II. Ze kunnen eenvoudig worden ingezet voor het uitvoeren van scenario-berekeningen;
- III. Ze zijn eenvoudig(er) te begrijpen en te reproduceren door de gemiddelde hydroloog;
- IV. De modelbouwdoorlooptijden zijn relatief kort (t.o.v. bv. de GD-kartering);
- V. De bouw van een deterministisch model is (zeker tegenwoordig) relatief goedkoop;
- VI. De gebruikte codes en software zijn over het algemeen gebruikersvriendelijk en op de markt beschikbaar;
- VII. Er zijn vele aanbieders van deterministische technieken (bijna alle adviesbureau's en onderzoeksinstituten leveren dit soort 'diensten');
- VIII. M.b.v. een aantal van de beschikbare deterministische methoden is het ook mogelijk om aan andere hydrologische doelvariabelen, noodzakelijk voor de onderbouwing van beleidsontwikkeling en planvorming, te rekenen. Denk daarbij bijvoorbeeld aan de waterbalanscomponenten en de faalkans van regionale watersystemen, d.w.z. de overschrijdingsfrequentie waarmee inundatie vanuit het oppervlaktewater plaatsvindt;
- IX. M.b.v. een aantal van de beschikbare deterministische methoden is het ook mogelijk om hydrologisch te rekenen aan stedelijke watersystemen, wat zondermeer noodzakelijk is gegeven de NBW-doelstellingen en de urbanisatiegraad van grote delen van Nederland.

Voordeel is tevens dat er een zuivere vergelijking kan worden gemaakt tussen de AGOR_GxG en de VGOR_GxG, immers, deze zijn met dezelfde methoden aangemaakt.

Overigens maakt HDSR wel gebruik van stochastische methoden, maar deze staan 'in dienst' van de deterministische modellering, d.w.z. parameterwaarden worden geschat gebruikmakende van stochastische technieken en de nauwkeurigheid van de per AHN-pixel geschatte GxG-waarden die het deterministische modelinstrumentarium berekent wordt bepaald met een systematiek die de kracht van regressie-analyse, stochastische tijdsreeks-analyse en geostatistiek bundelt.

VERGELIJKING GT-1:10.000 & SIMGRO_GT

In het kader van gebiedsgericht project Kromme Rijn, is in opdracht van DLG door Alterra een bodemkaart 1:10.000 aangemaakt. Per bodemeenheid is tevens een schatting van de Gt gemaakt op basis van veldmetingen (zowel tijdsreeksen als gerichte opnames) en (subjectieve) interpolatie. Zie Kiestra (2003) voor een beschrijving van de aanpak en Brus en Kiestra voor een beschouwing op de nauwkeurigheid van de Gt-informatie op bodemkaarten 1:10.000. Figuur 1 laat de verschillen zien tussen een op SIMGRO gebaseerde Gt-kaart en een Gt, gebaseerd op de methode als beschrijven in Kiestra (2003). De blauwe kleuren laten de verschillen zien in termen van maximaal 1 Gt-klasse. In de lila-gebieden is het verschil maximaal 3 klassen en in de rode gebieden is het verschil maximaal 5 Gt-klassen.

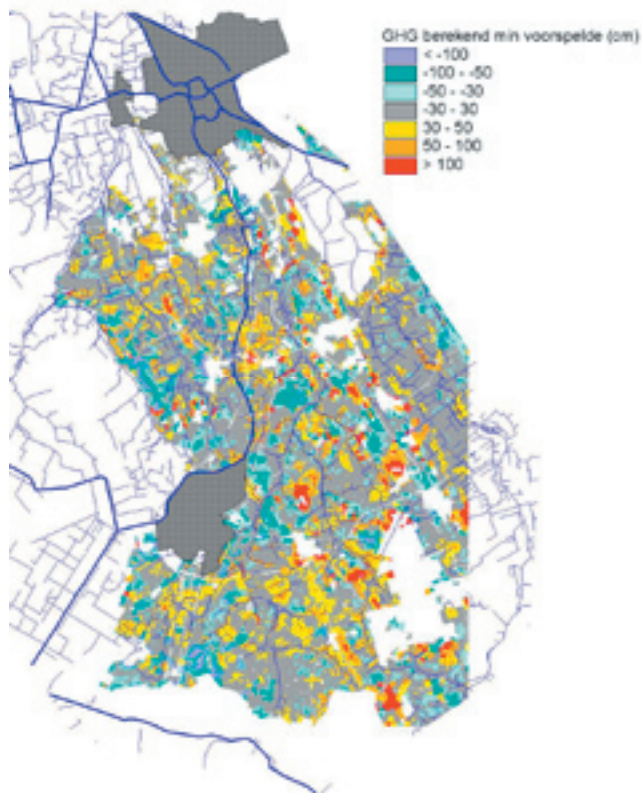


VERGELIJKING GD_GHG & SIMGRO_GHG

Er zijn tot op heden weinig gepubliceerde vergelijkingen tussen met de GD-methode berekende GxG's en op SIMGRO gebaseerde grondwaterstandsfluctuaties. Het meest duidelijk voorbeeld, dat dan ook in deze rapportage is verwerkt, is ontleend aan Querner e.a. (2006). De auteurs hebben de verschillen tussen een SIMGRO-GHG kaart en een GD-GHG kaart geanalyseerd, zie figuur 2. In deze figuur is weergegeven het verschil in de GHG. Uit deze figuur blijkt dat voor een groot deel van het gebied de SIMGRO-GHG goed overeenkomt met de GD-GHG: voor de grijze vlakken is dit verschil kleiner dan 30 cm. Met name in de gebieden met keileem zijn er plekken waar de berekende GHG een stuk lager ligt (in figuur 2 de rood gekleurde gebieden). Een onderschatting van de dikte en/of de weerstand van de keileem kan hier de oorzaak van zijn. Het verschil kan ook te wijten zijn aan de voorspellingsfout van de grondwaterdynamiek kaarten die voor de Hondsrug geschat wordt op meer dan 50 cm. Met name bij grotere verschillen in maaiveld over korte afstand volgt bij de Gd kaart de grondwaterstand te veel het maaiveld.

FIGUUR 2

VERSCHIL SIMGRO-GHG EN GD-GHG



VOORBEELDEN VAN ANDERE VOORDELEN VAN DE DETERMINISTISCHE AANPAK

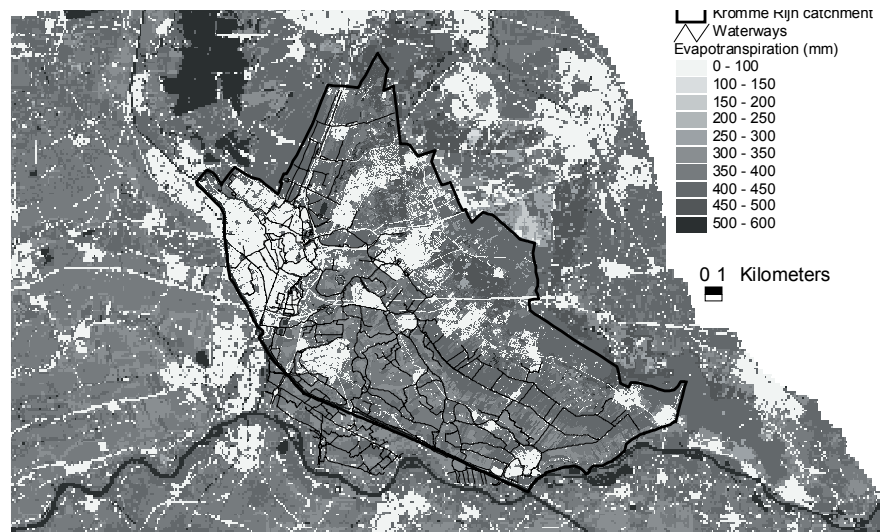
Een reeds genoemd ander voordeel van het gebruik van deterministische methoden is de mogelijkheid om ook andere, voor de waterbeheerder relevante toestandsvariabelen te schatten. Een voorbeeld is de ecologische relevante kwel* (zie figuur 3, ontleend aan Hermans e.a. (2004)), maar ook de actuele verdamping (zie figuur 4, ontleend aan Veldhuizen e.a. (2006)).

FIGUUR 3 ECOLOGISCH RELEVANTE KWEL (MM/D)



*: Kwel die daadwerkelijk de wortelzone bereikt.

FIGUUR 4 MET SIMGRO BEREKENDE ACTUELE VERDAMPING IN EEN ZOMERHALFJAAR, VOOR HET KROMME RIJN-GEBIED, UITGAANDE VAN EEN MAKKINK REFERENTIE-GEWASVERDAMPING VAN 418MM



LITERATUUR

Heijkers, J. & H. Prak (2006) De noodzaak van integraal werken; Casestudie Langbroekerwetering; In: H2O 3.

Heijkers, J., H. Prak en G. Beugelink (2005) De noodzaak van integraal werken; GGOR als kapstokbeleid; In: H2O 20.

Querner, E.P., M. Rakhorst, A.G.M. Hermans & S. Hoegen (2006) Verkenning van mogelijkheden om water vast te houden op het Drents Plateau; Pilot Noord West Drentse Beken; gepubliceerd: Alterra-rapport 1240.

Harbaugh, A.W., Banta, E.R., Hill, M.C., and McDonald, M.G., 2000, MODFLOW-2000, the U.S.

Geological Survey modular ground-water model -- User guide to modularization concepts and the Ground-Water Flow Process: U.S. Geological Survey Open-File Report 00-92, 121 p.

HarmonIT, 2005. The org.OpenMI.Standard interface specification. Part C of the OpenMI document Series. IT frameworks (HarmonIT). EC-FP5 Contract EVK1-CT-2001-00090.

Van Walsum, P. E.V., A.A. Veldhuizen, P.J.T. van Bakel, F.J.E. van der Bolt, P.E. Dik, P. Groenendijk, E.P. Querner, M.F.R. Smit. 2004. SIMGRO 5.0.2, Theory and model implementation.

Wageningen, Alterra. Alterra-Report 913.1. 96 pp.; 28 figs.; 2 tables; 50. refs.

Van Walsum, P. E.V. and Groenendijk, 2006. Dynamic metamodel for the unsaturated-saturated zone, Proceeding of MODFLOW 2006. IGWMC, Colorado School of Mines.

Veldhuizen, A.A., P.E.V. van Walsum, A. Lourens, P.E. Dik. (2006) Flexible integrated modeling of groundwater, soil water and surface water. Proceedings of MODFLOW 2006. IGWMC, Colorado.

Valstar, J. R., D. B. McLaughlin, C. B. M. te Stroet, and F. C. van Geer (2004), A representor-based inverse method for groundwater flow and transport applications, Water Resources Research, 40, W05116, doi:10.1029/2003WR002922.

Kiestra, E. (2003) Bodemkundig-hydrologisch onderzoek voor de waardebeoordeling van de gronden in het ruilverkavelingsgebied Kromme Rijn; Alterra-Rapport 441.

BIJLAGE 9

VOORSTEL VERGELIJKEND ONDERZOEK

Hoewel er meerdere methoden beschikbaar zijn wordt voorgesteld om op basis van de validatie-set die Alterra op dit moment voor haar eigen methoden aan het inventariseren en monitoren is in het Beerze-Reusel gebied uit te gaan. Onder meer de volgende methoden kunnen met elkaar worden vergeleken.:

- Gd-kartering Alterra;
- Analytische Gd-kartering KIWA;
- Ruimtelijk-verdeelde, deterministisch aanpak op basis van het geïntegreerde MODFLOW-SIMGRO (dus met MetaSWAP functionaliteit) (Alterra & TNO-NITG).

De data wordt (al dan niet gebruikmakende van boot-strapping technieken) verdeeld in een kalibratie- en validatie-set. Voor de bouw van de modellen dienen identieke datasets ter beschikking te worden gesteld aan de diverse methodehouders, op de hoogste temporele en ruimtelijke kwaliteit en resolutie die voorhanden is. De kalibratieset wordt gebruikt om de modellen mee op te tuigen. In het geval van de eerste twee methoden betekent dit concreet dat de meetreeksen worden ingezet om (stochastische) tijdreeksmodellen mee af te leiden.

In het geval van de derde methode betekent dit dat de meetreeksen worden ingezet voor parameter-optimalisatie (eventueel in combinatie met toestandsreconstructie). Daarvoor kunnen bijvoorbeeld de Representer-methode, SODA of MOSCEM-UA worden ingezet. Of de data wordt gebruikt en hoe is een beslissing die de methodehouders zelf moeten nemen. De nauwkeurigheid (bijvoorbeeld uitgedrukt in termen van de ME en RMSE) wordt zowel op de kalibratie- en validatiepunten bepaald. Dit is de meest eenvoudige manier om de methode te vergelijken. Er kunnen ook grondigere statistische aanpakken worden bedacht. Nauwkeurigheid De vergelijking van de nauwkeurigheid van de verschillende methoden is niet uitputtend gedaan. Aanbeveling is dit in de toekomst nader te onderzoeken.