



Jaco van der Gaast, Alterra
 Harry Massop, Alterra
 Henk Vroon, Alterra
 Igor Staritsky, Alterra

Hydrologie op basis van karteerbare kenmerken

Het onderzoek van de Commissie Waterbeheer 21e eeuw heeft onder andere geresulteerd in een wateropgave. Deze kan gezien worden als het (hydrologische) verlanglijstje van de waterschappen. Vaak zijn waterhuishoudkundige ingrepen nodig om aan de wateropgaven te kunnen voldoen. Om te kunnen bepalen in hoeverre ingrepen bijdragen aan de gestelde wateropgave, is kwantificering van de effecten van waterhuishoudkundige ingrepen noodzakelijk. Bij Alterra is onlangs een project afgerond waarin een methode is ontwikkeld waarmee de hydrologie van Nederland landsdekkend kwantitatief in beeld is gebracht. De methode is zodanig opgezet dat hiermee in de toekomst de effectiviteit van maatregelen kan worden berekend.

Voor het landsdekkend in beeld brengen van de hydrologie van Nederland is uitgegaan van een specifiek benaderingsprincipe, waarbij het grondwaterstandsverloop wordt gezien als de resultante van de op die locatie geldende (geo)hydrologische, bodemfysische, meteorologische en de hiermee samenhangende waterhuishoudkundige omstandigheden⁵⁾. Het grondwaterstandsverloop kan worden samengevat in een grondwatertrap (Gt). Uitgaande van deze benaderingswijze kunnen, na het modelmatig doorrekenen van een groot aantal combinaties van (geo)hydrologische/bodemfysische, meteorologische eigenschappen en Gt, indien rekening wordt gehouden met de gehele parameteruimte, de verkregen modelresultaten worden geïnterpoleerd. Op deze manier is het mogelijk om hydrologische eigenschappen zoals afvoer, grondwateraanvulling, kwel, enz. landsdekkend te karakteriseren en in kaart te brengen.

Nederland is geschematiseerd tot 437 unieke eenheden. Bij de opzet van deze ruimtelijke schematisatie is er voor gekozen om zoveel mogelijk gebruik te maken van tijdsonafhankelijke gegevens in de vorm van klimaatregio's, hydrotypen voor de geohydrologische situatie en bodemfysische eenheden voor de bodemkundige situatie (afbeelding 4). Hierdoor is het, naast het modelleren van de huidige situatie, mogelijk om de effectiviteit van maatregelen door te rekenen, waarbij hydrologisch gezien nieuwe situaties kunnen ontstaan. Vervolgens is het model SWAP

geparametriseerd op basis van karteerbare kenmerken en analytische oplossingen. SWAP is een ééndimensionaal onverzadigde zonemodel²⁾ dat kan worden gezien als een perceelsmodel. Hiermee kan een verticale grondkolom, die een koppeling heeft met het oppervlaktewatersysteem en representatief is voor een gemiddelde locatie in een perceel, worden gemodelleerd.

De koppeling met het oppervlaktewatersysteem is in het model zodanig aangepast dat ieder oppervlaktewatersysteem wordt gemodelleerd in de vorm van een reservoir met een eigen drempel en een Q(h)-relatie (aanpassing in SWAP versie 2.07d). Hierdoor sluit het model beter aan bij de praktijk, aangezien berging op het maaiveld en opstuwing in het tertiaire oppervlaktewatersysteem kunnen worden meegenomen. Voor de parametrisering van de drainageweerstand is gebruik gemaakt van een groot aantal peilbuislocaties (circa 2000). Voor deze peilbuislocaties is de drainageweerstand in de vorm van een factor maal de slootafstand gekalibreerd. De relevante slootafstand is voor grids met een resolutie van 25 bij 25 meter bepaald op basis van het Top10-vectorbestand. Om de afname van de relatie tussen grondwater en oppervlaktewater bij toename van de afstand tot een waterloop in rekening te brengen, is gebruik gemaakt van de freatische spreidingslengte⁴⁾. Hierdoor is het mogelijk om een weegfactor, in de vorm van een exponentieel uitdovingsverloop met de afstand, mee te nemen. Aangezien de freatische spreidingslengte

mede afhankelijk is van de drainageweerstand, zou eigenlijk gebruik moeten worden gemaakt van een iteratieve procedure. Deze is dankzij een goede initiële schatting van de drainageweerstand om praktische redenen achterwege gebleven. Op deze manier zijn landsdekkende gridbestanden met gemiddelde slootafstanden en drainageweerstand per oppervlaktewatersysteem bepaald.

Kalibratie

Na voltooiing van de parametrisatie zijn de modellen voor combinaties van schematisatie-eenheden (437) en Gt's (IIa, IIIb, VIa, VIId) gekalibreerd. De meeste invoergegevens en eigenschappen die hierbij een rol spelen,

Afb. 1: Schematische weergave van de gevolgde werkwijze.



zoals bijvoorbeeld neerslag, verdamping, drainageweerstanden en bodemberging, zijn direct of indirect te beschouwen als karteerbare kenmerken. De kwel is echter niet direct meet- en karteerbaar, daarom is besloten deze variabele te kalibreren. Hierbij is de onderrand van het model, de kwel/wegzijing, in de vorm van een constante diepe stijghoogte en een weerstandswaarde, gekalibreerd op de GHG, GVG en GLG (tezamen GxG). Hierbij wordt een systeemweerstand gekalibreerd welke evenals de drainageweerstand kan worden gedefinieerd als het quotiënt van het stijghoogteverschil en de daardoor geïnduceerde regionale kwelflux. Door deze benadering is de kwel/wegzijing afhankelijk gemaakt van de freatische grondwaterstand, waardoor het mogelijk is om de effectiviteit van maatregelen door te rekenen. In afbeelding 2 is een kalibratieresultaat, waarbij gekalibreerd is op de drie GxG getallen, weergegeven. De resultaten geven aan dat de Gt-parameters het grondwaterstandsverloop goed samenvatten.

Bij de gehanteerde benaderingswijze wordt kwel of wegzijing gezien als een waterflux, welke, uitgaande van de meteorologische, de fysische en de waterhuishoudkundige omstandigheden van een locatie, nodig is voor het realiseren van het gewenste grondwaterstandsverloop.

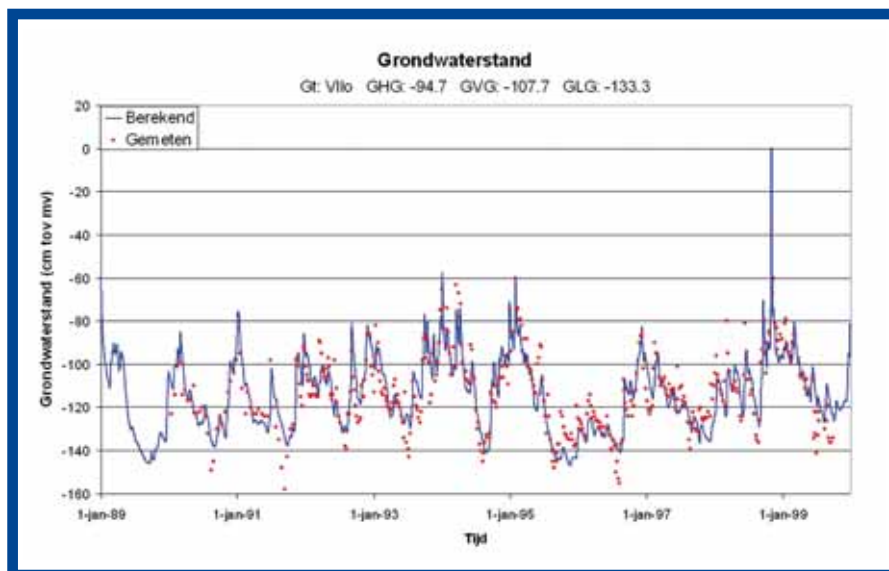
Resultaten

Nadat de kalibratie is voltooid, zijn per schematisatie-eenheid verschillende type resultaten beschikbaar. Het SWAP-model genereert uitvoer op dagbasis, welke kan worden omgezet naar daggemiddelde regimecurves of doorlijnen. Deze bewerkingen kunnen worden gedaan voor grondwaterstanden, kwel/wegzijing, afvoer en waterfluxen (bijvoorbeeld grondwateraanvulling) of berging. In afbeelding 3 is een voorbeeld gegeven van een daggemiddelde regimecurve van de afvoer voor twee verschillende Gt's in een schematisatie-eenheid. Uit de figuur blijkt dat de afvoer afhankelijk van de Gt in meer of mindere mate in de tijd kan variëren.

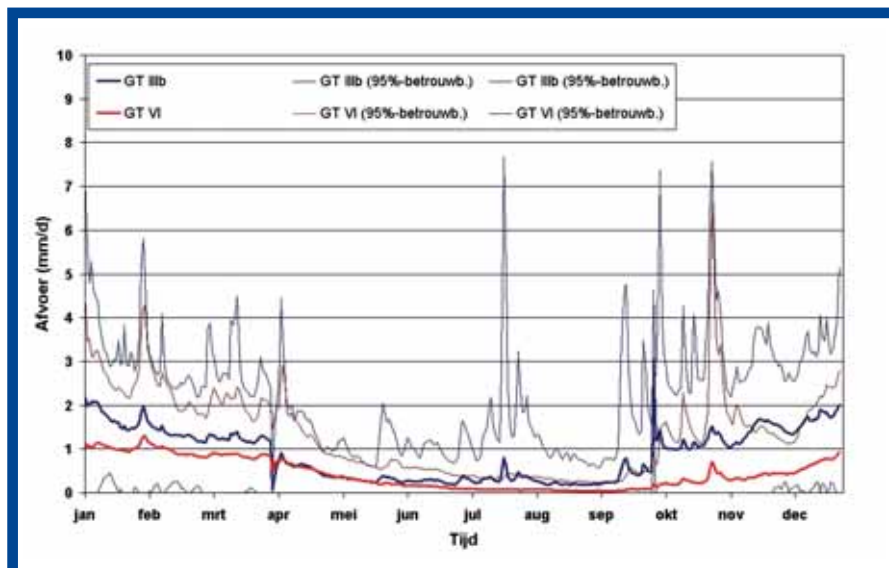
De berekende afvoer is zoals verwacht in de zomerperiode lager dan in de winterperiode. Daarnaast blijkt de afvoer voor de nattere Gt IIIb over het algemeen hoger dan voor de drogere Gt VI.

Kartering van kenmerken

Om een vertaling naar kaarten mogelijk te maken, moet gebruik worden gemaakt van relevante parameters in plaats van tijdreeksen, daggemiddelde regimecurves of doorlijnen. Het gaat hierbij om samenvattende parameters die kenmerkend en relevant zijn voor bepaalde toepassingen. De maatgevende afvoer is een voorbeeld van een hydrologisch kenmerk die gebruikt wordt voor het dimensioneren van waterlopen. De maatgevende afvoer is de afvoer van een gebied welke één à twee dagen per jaar wordt overschreden. Hieraan ten grondslag ligt de specifieke afvoer, welke is gedefinieerd als de afvoer per oppervlakte-eenheid van het beschouwde gebied (met

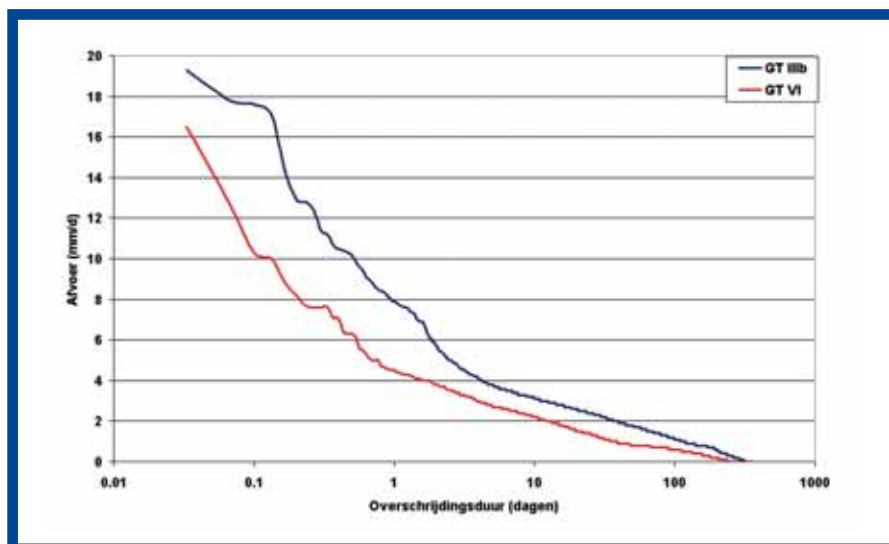


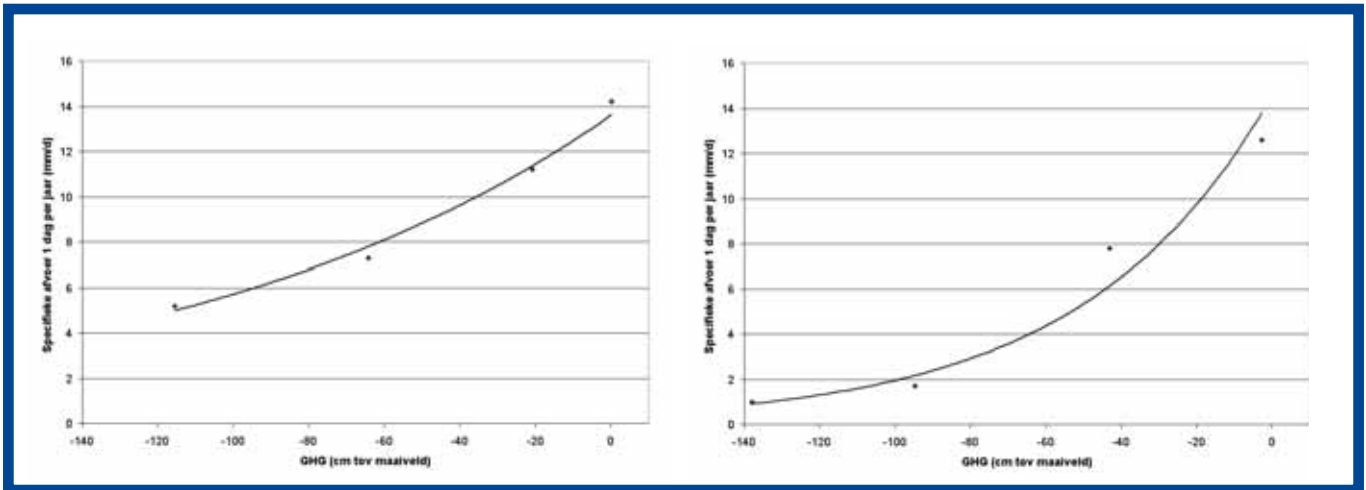
Afb. 2: Vergelijking van gemeten en berekende grondwaterstanden op een peilbuislocatie, waarbij het model SWAP is gekalibreerd op de GHG, GVG en GLG.



Afb. 3: Daggemiddelde afvoerregimecurve voor een schematisatie-eenheid voor Gt IIIb en Gt VI. De dikke lijn is het gemiddelde. De dunne lijnen geven het 90%-betrouwbaarheidsgebied weer, gebaseerd op een rekenperiode van 30 jaar.

Afb. 4: Afvoerduurlijn voor een schematisatie-eenheid voor de landbouwkundige situatie voor Gt IIIb en Gt VI gebaseerd op een rekenperiode van 30 jaar.





Afb. 5: Metamodel voor de relatie tussen de GHG en de specifieke afvoer met een herhalingsstijd van één maal per jaar voor een schematisatie-eenheid in een beekdal (links) en een schematisatie-eenheid in een dekzandrug (rechts).

een gekozen overschrijdingsfrequentie). In afbeelding 4 zijn voor één schematisatie-eenheid voor twee Gt's de doorlijnen van de specifieke afvoer weergegeven. Voor het vervaardigen van een kaart van de specifieke afvoer met een overschrijdingsfrequentie van één dag per jaar, kan de afvoer uit de doorlijn worden afgeleid.

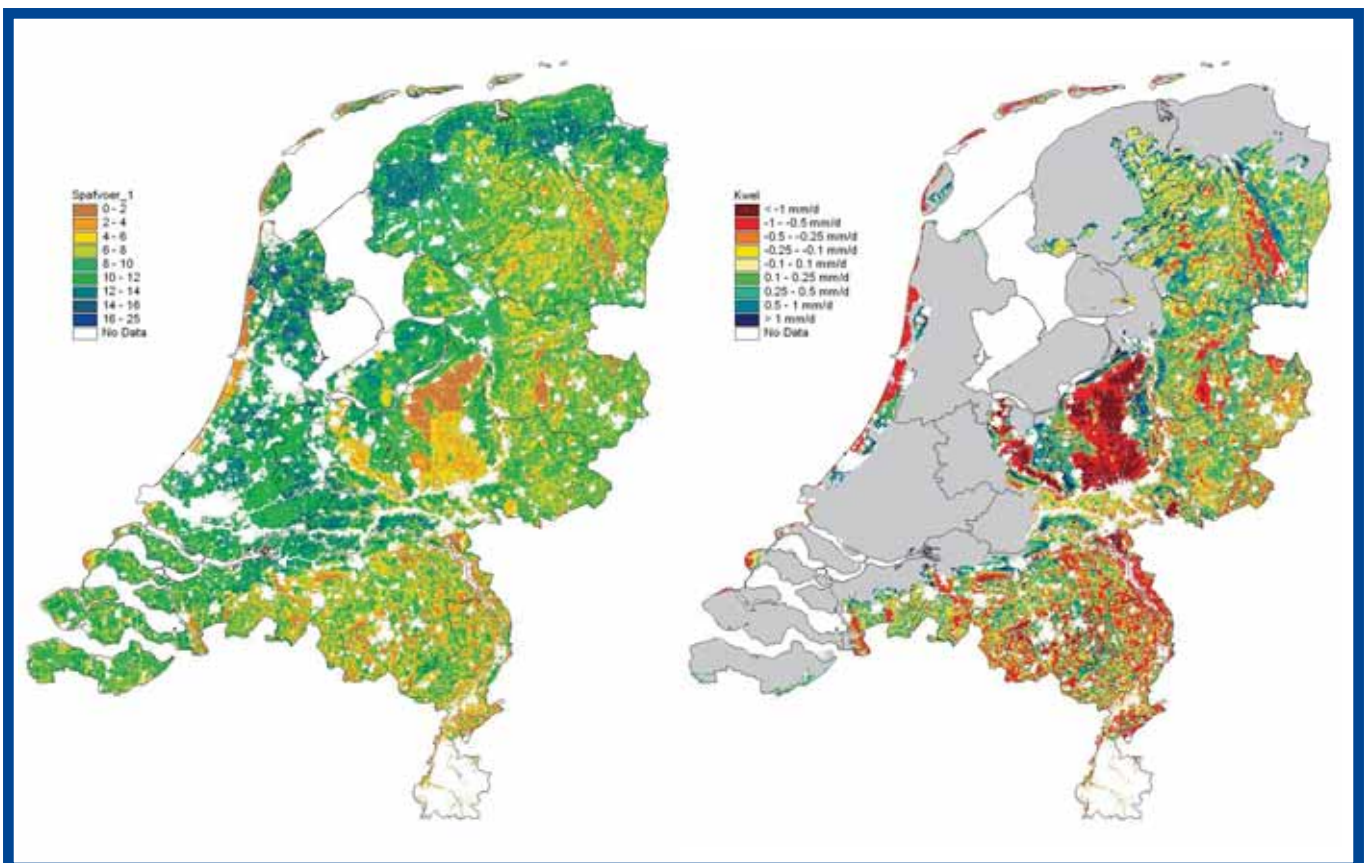
Metamodellen

Voor het vertalen van rekenresultaten naar een vlakdekkende kaart is gebruik gemaakt van metamodellen. Een metamodel is een model van een model, waarbij in de meeste gevallen modeluitkomsten van een complex model worden gereproduceerd door een eenvoudiger model. Aangezien gebruik wordt gemaakt van metamodellen, is het

van belang de gehele parameter ruimte door te rekenen, teneinde extrapolatie bij het gebruik van metamodellen te minimaliseren. Hierdoor zijn ook hydrologische combinaties doorgerekend die in werkelijkheid niet of nauwelijks voorkomen. Enkele duidelijke voorbeelden hiervan zijn een Gt IIa op een stuifzandgrond of een Gt VII in een laagveen gebied. Samenvattend kan gesteld worden dat er feitelijk niet voor werkelijke locaties wordt gerekend, maar voor combinaties die de parameter ruimte zo volledig mogelijk beschrijven. Hierdoor wordt het mogelijk om metamodellen af te leiden die, in combinatie met verklarende vlakdekkend beschikbare hulpinformatie, kunnen worden gebruikt voor het vlakdekkend invullen van hydrologische eigenschappen.

Er is voor gekozen om gebruik te maken van één metamodel per schematisatie-eenheid. Hierdoor is het mogelijk gebruik te maken van metamodellen die eenvoudig van opzet zijn, waardoor de metamodelrelaties herleidbaar en herkenbaar zijn. Door de eenvoud van de metamodellen blijft het voor een hydroloog mogelijk de uitkomsten te beredeneren en kunnen deze bijdragen aan de vergroting van het hydrologisch inzicht. In afbeelding 5 zijn metamodellen voor twee schematisatie-eenheden weergegeven. De metamodellen beschrijven de relatie tussen enerzijds de GHG, welke vlakdekkend beschikbaar is, en anderzijds de specifieke afvoer met een herhalingsstijd van één dag per jaar. Uit de afbeelding blijkt dat, zoals verwacht mag worden, de afvoer in een

Afb. 6: Specifieke afvoer met een herhalingsstijd van één maal per jaar (maatgevende situatie in millimeter per dag) en kwel/wegzijing (millimeter per dag).



beekdalgrond groter is bij dezelfde GHG dan de afvoer in een dekzandrug.

Nadat een metamodel voor iedere schematisatie-eenheid is vastgesteld, kunnen deze in combinatie met de in hoge resolutie (25 x 25 meter) beschikbare verklarende variabele worden gebruikt voor het genereren van kaarten. In afbeelding 6 zijn de specifieke afvoer met een herhalingstijd van één maal per jaar en de kwel/wegzijing weergegeven. De afvoergegevens zijn voor verschillende herhalingstijden voor een aantal kleine stroomgebieden vergeleken met meetgegevens. Uit deze vergelijking blijkt dat de afvoeren goed overeenkomen (afwijkingen tot circa 10 procent) voor zowel gebieden met een hoge specifieke afvoer als voor gebieden met een lage specifieke afvoer⁵. Voor de kwelkaart is gekeken naar de plausibiliteit, waarbij de resultaten op basis van expertjudgement zijn gecontroleerd. Hieruit blijkt dat de gegevens voor het zandgebied redelijk plausibel zijn, maar voor het Holocene deel van Nederland niet van voldoende kwaliteit zijn, aangezien de waterhuishoudkundige situatie onvoldoende in de schematisering is meegenomen. Daarom zijn deze gegevens niet weergegeven in afbeelding 6. Momenteel wordt bij Alterra gewerkt aan het verbeteren van de gegevens over het Holocene deel van Nederland.

In tabel 1 zijn enkele grondwaterkarakteristieken in de vorm van gemiddelden voor Nederland, exclusief het stedelijk gebied, voor de gemiddeld hoogste (GHx), laagste (GLx) en voorjaars situatie (GLx), weergegeven. In de winterperiode (rond GHG) en het voorjaar (rond GVG) is de afvoer iets hoger dan de neergaande flux en de kwel. In de zomerperiode is de afvoer zeer gering en vindt een opwaartse flux plaats die voor een groot deel via kwel wordt aangevoerd. De gemiddelde kwel blijkt het laagst op GHG-moment. Dit kan worden verklaard door de tegendruk van de freatische grondwaterstand in natte perioden. Voor gebieden met een deklaag zoals in West-Nederland, is het duidelijk dat de kwel, als gevolg van een relatief geringe fluctuatie van de stijghoogte in het diepe watervoerende pakket, ten opzichte van de freatische grondwaterstand in een natte periode (winter), lager is dan in een droge periode (zomer)^{1),3)}. Ook in het zandgebied van Nederland is in een kwelgebied de fluctuatie van de diepere grondwaterstand

als gevolg van anisotropie hoog in het bodemprofiel (onder andere als gevolg van beekafzettingen) gering ten opzichte van de freatische grondwaterstand, mits het beekdal landbouwkundig ontwaterd is. Indien de fluctuatie van de freatische grondwaterstand als gevolg van een ondiepe ontwatering wordt begrensd door het maaiveld, kan de fluctuatie in de diepe stijghoogte relatief gezien groter zijn, waardoor de kwel voornamelijk wordt gestuurd door de diepe stijghoogte en derhalve in natte periode groter kan zijn. Ook faseverschillen kunnen hierbij een belangrijke rol spelen. Aangezien om praktische redenen een constante diepe stijghoogte is gehanteerd, is de fluctuatie in de kwel, afhankelijk van faseverschillen, in meer of mindere mate overschat. Ook bij lokale kwelsystemen die in de loop van de zomer uitgeput raken, kan de kwel in de winter hoger zijn dan in de zomer. Nader onderzoek naar de fluctuatie van de kwel in de tijd is wenselijk.

Toepassingsmogelijkheden

Het landsdekkend beschikbaar komen van tijdreeksen van grondwaterstanden, kwel/wegzijing, afvoeren en fluxen, geeft de mogelijkheid om allerlei kenmerkende hydrologische eigenschappen af te leiden. Zoals eerder aangegeven, is het voor het vervaardigen van een vlakdekkend beeld van belang om relevante parameters van deze eigenschappen uit tijdreeksinformatie te genereren. Voorbeelden van dergelijke parameters zijn gemiddelden, waarden voor verschillende herhalingstijden (bijvoorbeeld maatgevende afvoer) of somoverschrijdingswaarden. Deze waarden geven de som weer van de duur vermenigvuldigd met de grootte van de overschrijding van een bepaald niveau in een bepaalde periode zoals winter, voorjaar, zomer of maand. Daarnaast kunnen ook vergelijkbaar met de GHG-, GVG- en GLG-waarden voor de gemiddeld hoogste, voorjaars- en laagste afvoer, kwel of fluxen op een bepaald niveau worden bepaald. Voor bijvoorbeeld kwel kunnen de gemiddeld hoogste en laagste kwel gebruikt worden voor toekomstig onderzoek naar de relatie tussen kwel, waterkwaliteit en de potenties voor natuur. Ook de somoverschrijdingswaarden kunnen bijvoorbeeld worden gebruikt om in de toekomst onderzoek te doen naar de mate waarin het adsorptiecomplex van de bodem kan worden opgeladen in relatie tot het voorkomen van en de duur van kalkrijke kwel in ondiepe

bodemlagen. De gemiddeld hoogste en laagste afvoer kan bijvoorbeeld in de toekomst worden gebruikt voor het herdimensioneren van waterlopen, waarbij naast hoge afvoeren ook naar de lage afvoeren kan worden gekeken.

Recent is op basis van de methode van het project 'karterbare kenmerken' getracht om voor een proefgebied de historische situatie te reconstrueren. Op deze manier is het mogelijk om het historische grond- en oppervlaktewaterregime vast te stellen⁶. Aangezien de schematisering heeft plaatsgevonden op basis van tijdsafhankelijke variabelen en bij de modellering geen gebruik is gemaakt van fluxrandvoorwaarden is het in de toekomst ook mogelijk om de effectiviteit van maatregelen te bepalen. Hierbij kan de effectiviteit van maatregelen worden uitgedrukt in zowel een verandering in het grond- en oppervlaktewaterregime als een verandering in het afvoer-, kwel- of fluxregime in termen van een veranderde gemiddeld hoogste, voorjaars- en laagste afvoer of kwel). Naast veranderingen als gevolg van ingrepen in de waterhuishouding, vinden ook andere ontwikkelingen plaats. Klimaatverandering bijvoorbeeld zorgt voor een nieuwe situatie met een bijbehorend nieuw grond- en oppervlaktewaterregime. Ook de effecten van klimaatverandering kunnen op deze manier worden omgezet naar toekomstige grondwaterstands-, afvoer- en kwelsituaties.

LITERATUUR

- 1) Bier G., D. van der Hoek, S. van der Schaaf en T. Spek (1992). Kwel en natuurontwikkeling in het Binnenveld tussen de Nederrijn en Veenedaal.
- 2) Van Dam J., J. Huygen, J. Wesseling, R. Feddes, P. Kabat, P. van Walsum, P. Groenendijk en C. van Diepen (1997). SWAP version 2.0, Theory. Simulation of water flow, solute transport and plant growth in the Soil-Water-Atmosphere-Plant environment. Technical Document 45. DLO Staring Centrum.
- 3) Van der Gaast J. en J. Peerboom (1996). Geohydrologisch veldonderzoek in het Purmerbos. Uitwerking en interpretatie van doorlatendheidsmetingen en pompproeven. Rapport 437. DLO Staring Centrum.
- 4) Van der Gaast, J. en H. Massop (2003). Spreidingslengte voor het beheersgebied van Waterschap Veluwe. Alterra. Rapport 653.
- 5) Van der Gaast, J., H. Massop, H. Vroon en I. Staritsky (2006). Hydrologie op basis van karterbare kenmerken. Alterra. Rapport 1339.
- 6) Van der Gaast, J. en H. Massop (2007). Reconstructie van de historische hydrologie. H₂O nr. 7, pag. 36-40.

Tabel 1: Grondwaterkarakteristieken gemiddeld over heel Nederland in millimeter per dag afgerond op tien millimeter.

	dag van voorkomen	afvoer	flux*/**	kwel*
GHx	3 februari	3.0	-2.9	-0.1
GVx	1 april	1.2	-0.9	0.1
GLx	2 september	0.1	0.4	0.4
fluctuatie	153/212 dagen	2.9	3.3	-0.5
maatgevend		8.3	-	-

* De gemiddelde waarden voor Nederland kunnen enigszins beïnvloed zijn door resultaten in West-Nederland die voorlopig als minder plausibel beoordeeld zijn en binnenkort worden aangepast.
 ** De flux is de grondwaterflux door het grondwatervlak, welke overeenkomt met de grondwateraanvulling.