
Gedetailleerde modellering van grond- en oppervlaktewater maakt GGOR-model geschikt voor WB21-uitwerking

ir. T.A. Wendt
drs. P.N.M. Schipper
drs. W.J.M. Heijkers

Voor Waterbeheer 21^e Eeuw (WB21) en het gewenste grond- en oppervlaktewaterregime (GGOR) zijn al vele hydrologische modelonderzoeken verricht. Het gebruikte schaalniveau in ruimte en tijd verschilt onderling sterk. Dat geldt ook voor de wijze waarop de hydrologische processen worden geschematiseerd. Of een gehanteerde schaal optimaal is geweest, wordt vanwege tijd en budget zelden bekeken. Toch is dat met het oog op nieuwe onderzoeken en monitoring wel relevant. Daarnaast is het interessant te weten in hoeverre met één model oplossingen voor zowel WB21 als GGOR kunnen worden bepaald. Om meer inzicht te krijgen in de eisen die aan de modellering gesteld moeten worden, zijn met een bestaand model drie sets van berekeningen uitgevoerd. De resultaten laten zien dat berekende grondwaterstanden sterk verschillen als de interactie tussen oppervlaktewater en grondwater verschillend wordt geschematiseerd en dat voor GGOR-berekeningen een hoog detailniveau gewenst is. Daarnaast blijkt dat met relatief weinig aanpassingen het gebruikte model, dat is opgezet voor het GGOR, ingezet kan worden voor WB21.

Aanleiding

De Nederlandse waterschappen staan voor de taak om uitwerking te geven aan het vaststellen van het Gewenste Grond- en Oppervlaktewater Regime (Nationaal bestuursakkoord Water, 2003 (NBW)) en het Waterbeleid 21e Eeuw (Commissie WB21, 2000 & NBW, 2003). Deze beleidslijnen hebben beide als doelstelling “de optimalisatie van de performance van de regionale watersystemen op peilgebiedsniveau” (HDSR, 2003).

Bij GGOR ligt de nadruk vooral op de gemiddelde condities van het watersysteem. Typische GGOR-vraagstukken zijn de bestrijding van verdroging van natuurgebieden, het voorkomen van wateroverlast in stedelijk gebied of landbouwschade door structureel te hoge of te lage grondwaterstanden. Bij WB21 gaat het meer om de extreme neerslaggebeurtenissen. Vraagstukken waar waterschappen mee te maken hebben, hebben vooral

ir. T.A. Wendt (teun.wendt@grontmij.nl) en drs. P.N.M. Schipper (peter.schipper@grontmij.nl) zijn werkzaam bij Grontmij, Houten; drs. W.J.M. Heijkers is werkzaam bij Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden, Houten (heijkers.wjm@hdsr.nl).

betrekking op het voorkomen van wateroverlast door inundaties als gevolg van extreme neerslag. Vanuit het WB21-beleid wordt hiervoor de trits vasthouden, bergen, afvoeren aangereikt. Alvorens van start te gaan met de inhoudelijke uitwerking van deze beleidslijnen, wil Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden (HDSR) nagaan welke eisen gesteld worden aan hiervoor benodigde hydrologische rekenmethodes en de daaraan te koppelen dataverzameling.

Aan de hand van uiteenlopende onderzoeken in het beheersgebied, kan deze vraag al op enkele punten worden beantwoord. Zo is in een studie gekeken hoe gevoelig het watersysteem van HDSR reageert op klimaatverandering en bodemdaling (HKV & Alterra, 2001). In deze studie wordt geconcludeerd dat er een sterke samenhang is tussen het oostelijke en het westelijke deel van het beheersgebied van HDSR, zodat het belangrijk is om in dergelijke effectenstudies de regionale grondwaterstroming goed te beschrijven.

In een andere studie (Van Walsum e.a., 2002), is met modelonderzoek gekeken naar de relatie tussen een toename van neerslaghoeveelheden en -intensiteiten en de daaruit voortvloeiende toename van de maatgevende afvoer. Er blijkt een sterke niet-lineaire relatie te bestaan tussen een verhoging van de neerslag en daarop volgende verhoging van de maatgevende afvoer. Door sterke uitbreiding van de zones met (structureel) verzadigde bodems is er veel vaker sprake is van overland flow. Dit niet-lineaire effect kan goed door een ruimtelijk verdeeld model worden berekend dat de interactie tussen grond- en oppervlaktewater dynamisch meeneemt in zijn berekeningen.

Deze bevindingen geven echter slechts gedeeltelijk aan welk detailniveau en welke schematisatie het beste gehanteerd kunnen worden bij GGOR- en WB21-vraagstukken. Ook blijft de vraag bestaan of GGOR- en WB21-vraagstukken met één of met verschillende modellen beantwoord kunnen worden. Dit zijn vragen waar niet zomaar een generiek antwoord op valt te geven. In dit artikel wordt nu gepoogd om meer inzicht te verkrijgen door de vragen toe te spitsen op enkele modelstudies voor een specifieke situatie. Het gaat hierbij om een aantal modelleringen in het herinrichtingsgebied Groenraven-Oost in het kader van verdrogingsbestrijding. In dit gebied zijn diverse modelonderzoeken uitgevoerd met het model SIMGRO (Grontmij 2001, Grontmij 2003a en Grontmij 2003b). De vragen zijn:

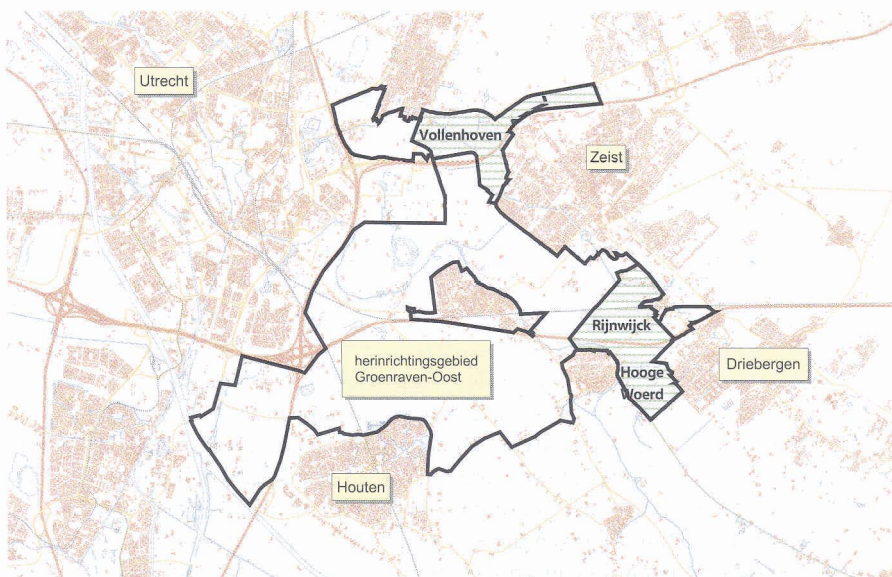
- Zijn de modellen van deze GGOR-achtige studies inzetbaar voor WB21-vragen?
- Is het nodig en nuttig grond- en oppervlaktewater volledig geïntegreerd door te rekenen?
- Maakt het veel verschil of een grof of fijn detailniveau is gehanteerd?

Om deze vragen te beantwoorden, is door Grontmij, in samenwerking met HDSR, een beknopt onderzoek uitgevoerd. In het navolgende worden de aanpak en resultaten van dit onderzoek behandeld.

Aanpak van het onderzoek

Het onderzoek richt zich op enkele deelgebieden in het herinrichtingsgebied Groenraven-Oost. Deze liggen op de flank van de Utrechtse Heuvelrug tussen Utrecht, Zeist en Houten (zie figuur 1). Belangrijke doelstellingen van het herinrichtingsplan voor Groenraven-Oost

zijn de bestrijding van de verdroging en de realisatie van nieuwe natuurgebieden, inclusief de realisatie van de daarbij behorende hydrologische condities. Hiervoor heeft de Dienst Landelijk Gebied in samenwerking met het Utrechts Landschap, Provincie Utrecht en HDSR het initiatief genomen tot het uitvoeren van ecohydrologische onderzoeken. Deze onderzoeken hebben concrete voorstellen opgeleverd voor de inrichting van het watersysteem. In het kader van WB21 is het van belang te toetsen wat de nieuwe inrichting van het watersysteem zal betekenen voor de gebiedsafvoer bij extreme neerslag. Immers, als in significante delen van het gebied de grondwaterstanden structureel hoger komen te liggen, zou dit kunnen leiden tot hogere afvoerpieken.



Figuur 1

Figuur 1: Herinrichtingsgebied Groenraven-Oost

Om een antwoord te geven op de drie gestelde vragen, zijn met de bestaande SIMGRO-modellen van Groenraven-Oost aanvullende berekeningen uitgevoerd. Met deze berekeningen wordt ingegaan op drie modelleer-aspecten die betrekking hebben op de modelschaal en modelschematisatie. Het gaat om de volgende drie aspecten:

- Welke tijdschalen en hydrologische processen zijn relevant bij het berekenen van effecten van vernatting en welke zijn relevant bij extreme afvoer en is dit verenigbaar in één model?
- Wat is de gewenste schematisatie om de interactie tussen grond- en oppervlaktewater voldoende nauwkeurig te simuleren?
- Wat is in natuurgebieden het gewenste ruimtelijke detailniveau om oplossingen aan te kunnen geven voor het bereiken van de GGOR?

Omdat de modelberekeningen alleen qua schaal of modelschematisatie van elkaar verschillen, kan het effect hiervan goed worden beoordeeld. Wel dient te worden bedacht, dat

in het onderzoek (ook vanwege tijd en budget) geen optimum is gezocht voor de gewenste schaal of schematisatie. Omdat het onderzoek alleen voor het herinrichtingsgebied is uitgevoerd, zijn conclusies indicatief en hoeven ze niet representatief te zijn voor andere regio's.

I Vernattingsmaatregelen en extreme afvoer

Tijdens het verdrogingsonderzoek in Hooge Woerd / Rijnwijk (een deelgebied van Groenraven-Oost) is geconcludeerd dat de actuele grondwaterstand lager is dan de optimale. Om een stijging van de grondwaterstand te realiseren, is een peilopzet in het gebied voorgesteld variërend tussen 0,2 en 0,5 m. Dit heeft een stijging van de GVG van circa 0,05 tot 0,30 m en van de GLG van circa 0,05 tot 0,25 m ten gevolg. Hierdoor neemt zowel de berging in de bodem, als in het oppervlaktewatersysteem af. Dit kan effecten hebben op de gebiedsafvoer en maximale waterpeilen bij extreme neerslag. In het kader van WB21 is het van belang het effect te kennen van deze GGOR-maatregelen. De vraag is of beide typen effecten te combineren zijn in één model.

Om de vernattingsmaatregel door te rekenen, zal de peilopzet gesimuleerd moeten worden. Dit vereist een grondwatermodel dat lokaal verfijnd genoeg is om de maatregel te kunnen invoeren en dat bovendien regionaal is opgezet, zodat de regionale grondwaterstroming betrouwbaar gesimuleerd wordt. Effecten op de natuur worden o.a. bepaald aan de hand van GVG en GLG, zodat een niet-stationaire modellering vereist is, met een doorlooptijd van minimaal 8 jaar. Hierbij volstaat een tijdstap van één tot enkele dagen.

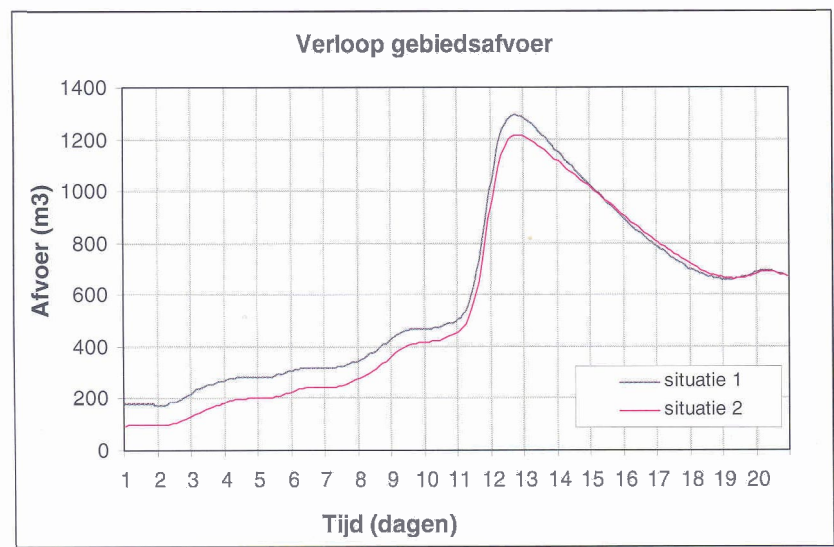
Voor een berekening van de afvoer en peilstijging bij extreme neerslag is een model nodig waarin de verzadigde, maar vooral de onverzadigde zone en het oppervlaktewatersysteem worden gemodelleerd. Om het effect in beeld te brengen, is een niet-stationaire berekening van een aantal dagen nodig. De gewenste tijdstap bedraagt minuten tot uren. Een goede beginvoorwaarde van grondwaterstand, waterpeil en bodemvochtgehalte zorgt er voor dat de berging tot het juiste niveau is opgevuld bij aanvang van de berekening. Cruciaal bij neerslag-afvoerberekeningen is dat de snelle afvoercomponent (afvoer over maaiveld) gesimuleerd kan worden, als de grondwaterstand tot boven maaiveld stijgt.

Het bestaande SIMGRO-model van Hooge Woerd / Rijnwijk is opgezet voor een GGOR-studie. Met een beperkt aantal aanpassingen is het mogelijk een neerslaggebeurtenis (regenbui) met een herhalingstijd van 100 jaar ($T=100$) door te rekenen in een natte voorjaarsituatie.

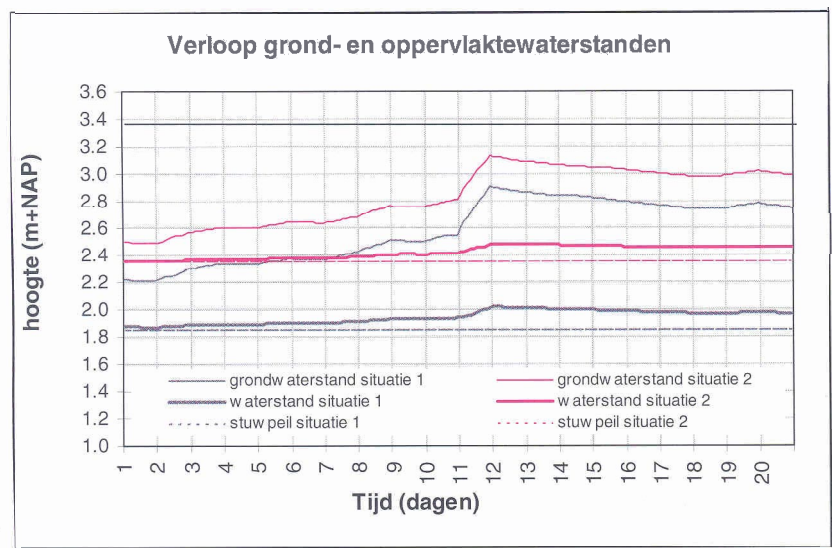
De berekening is uitgevoerd voor twee situaties, namelijk voor een situatie zonder peilopzet en voor een situatie met 0,5 m peilopzet. Met het bestaande model is eerst een beginvoorwaarde berekend. Hiervoor is gerekend met een tijdstap van 1 dag voor het grondwater en 0,05 dag voor het oppervlaktewatersysteem. Vervolgens is een periode van 20 dagen doorgerekend, met op dag 10 een bui van 73 mm. In totaal viel er in de eerste 10 dagen 154 mm neerslag. Gedurende de tweede 10 dagen viel er slechts 22 mm. De 2^e periode van 10 dagen is toegevoegd om zeker te zijn dat de afvoerpiek niet buiten de doorrekenperiode valt. Voor de tijdstap van het grondwatersysteem is 0,05 dag aangehouden en voor het oppervlaktewatersysteem 0,01 dag (circa 15 minuten).

In figuur 2 is de afvoer tegen de tijd uitgezet voor de situatie (1) voor en (2) na peilopzet. In figuur 3 is het verloop van de waterstand en de grondwaterstand uitgezet voor de situa-

tie voor en na peilopzet. In de figuur is tevens het gemiddelde maaiveld en het stuwpeil weergegeven. In figuur 2 is te zien dat al voor de T=100-bui (op dag 1) de afvoer in de situatie na peilopzet lager is dan voor peilopzet. Ook de piekafvoer is na peilopzet lager dan voor peilopzet. De vorm van de piekafvoer verandert vrijwel niet door de peilopzet. Over het algemeen leidt peilopzet tot een grotere piekafvoer. Dat dit hier niet gebeurt kan als volgt worden verklaard.



Figuur 2: Afvoer gebied Rijnwijk



Figuur 3: Grond- en oppervlaktewaterstanden gebied Rijnwijk.

In vrijwel het hele gebied kan de T=100-bui geborgen worden in de bodem, zonder dat de grondwaterstand boven maaiveld komt (figuur 3). Hierdoor speelt de snelle afvoercompo-

nent van de afvoer slechts een zeer beperkte rol. De drijvende kracht achter de langzame afvoercomponent is het verschil tussen stijghoogte en waterstand. Door de peilopzet stijgt de waterstand in de winter met 0,5 m terwijl de GHG en GVG slechts circa 0,3 m stijgen. Hierdoor neemt bij peilopzet het verschil tussen stijghoogte en waterstand af, waardoor de langzame afvoercomponent afneemt. Hoewel bij peilopzet de snelle component toeneemt, is in deze situatie de afname van de langzame component groter, zodat per saldo de piek in de afvoer lager wordt.

In dit voorbeeld is één specifieke locatie doorgerekend. In gebieden met minder berging in de bodem kan de toename van de snelle afvoercomponent gaan overheersen, zodat de afvoerpiek wel toeneemt door vernattende maatregelen. Door zowel het verloop van de grondwaterstand als het oppervlaktewaterpeil in de tijd in beeld te brengen, kunnen verklaringen gevonden worden voor onverwachte uitkomsten. Het blijkt, door de geïntegreerde modellering van grond- en oppervlaktewater, goed mogelijk met één en hetzelfde model een WB21-aspect (afvoer bij extreme neerslag) van een maatregel in het kader van GGOR (peilopzet om verdroging te bestrijden) te modelleren.

II Modelschematisatie interactie grond- en oppervlaktewater

GGOR en WB21 hebben niet zuiver betrekking op het oppervlaktewater en ook niet op het grondwater, maar op beide. Daarom ligt het voor de hand om een modelinstrumentarium te gebruiken, dat meer is dan een grondwatermodel met oppervlaktewater als randvoorwaarde of een oppervlaktewatermodel met grondwater als randvoorwaarde. SIMGRO biedt de mogelijkheid een volledig geïntegreerd model voor de verzadigde zone, onverzadigde zone en oppervlaktewater te maken. Per tijdstap is er een directe koppeling, zodat het grondwatermodel direct gebruik maakt van de veranderingen in het oppervlaktewater en andersom. De koppeling is robuust, doordat deze al bij de ontwikkeling van het programma is ingebouwd (Querner en Van Bakel, 1989). Dit maakt SIMGRO bij uitstek geschikt voor vraagstukken waarbij een hoog detailniveau ten aanzien van zowel grond- als oppervlaktewater gewenst is.

Om dit te illustreren is een drietal berekeningen uitgevoerd voor één van de sprengen in deelgebied Vollenhoven in Groenraven-Oost. Deze spreng, op de flank van de Utrechtse Heuvelrug, heeft in de winter meestal wel afvoer. In de zomer echter kan het waterpeil ver uit zakken beneden het streefpeil, waardoor de spreng gedurende een groot deel van het jaar geen water afvoert (Grontmij, 2003b). Op drie verschillende manieren wordt de grondwaterstand ter plaatse van de spreng gesimuleerd in de periode 1990 tot en met 1998:

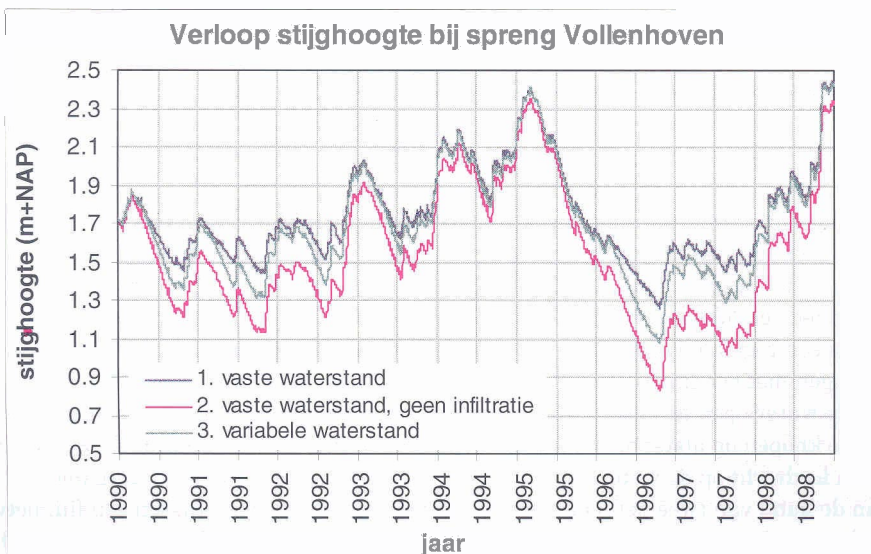
- 1 aan het model wordt een vaste waterstand van de spreng opgelegd; er wordt onderscheid gemaakt tussen zomer- en winterpeil, maar bij extreme neerslag stijgt het peil niet en in de zomer zakt het peil niet;
- 2 vaste waterstand zoals bij berekening 1, maar om te voorkomen dat in de zomer een onrealistisch hoge infiltratie uit waterlopen ontstaat, is infiltratie onmogelijk gemaakt door een zeer hoge uittreeweerstand van de watergang., drainage is wel mogelijk;
- 3 een 'normale' SIMGRO-modellering, waarbij de waterstand in de zomer kan uitzakken, infiltratie en drainage zijn afhankelijk van het peilverschil tussen grondwaterstand en de berekende waterstand, infiltratie stopt als de watergang droog komt te staan.

In figuur 4 is voor de drie verschillende situaties het verloop van de grondwaterstand in de tijd weergegeven voor één locatie bij de spreng. In figuur 5 is het verloop van de waterstand in de spreng op diezelfde locatie weergegeven. In de figuren is te zien dat de wijze van modelleren duidelijk van invloed is.

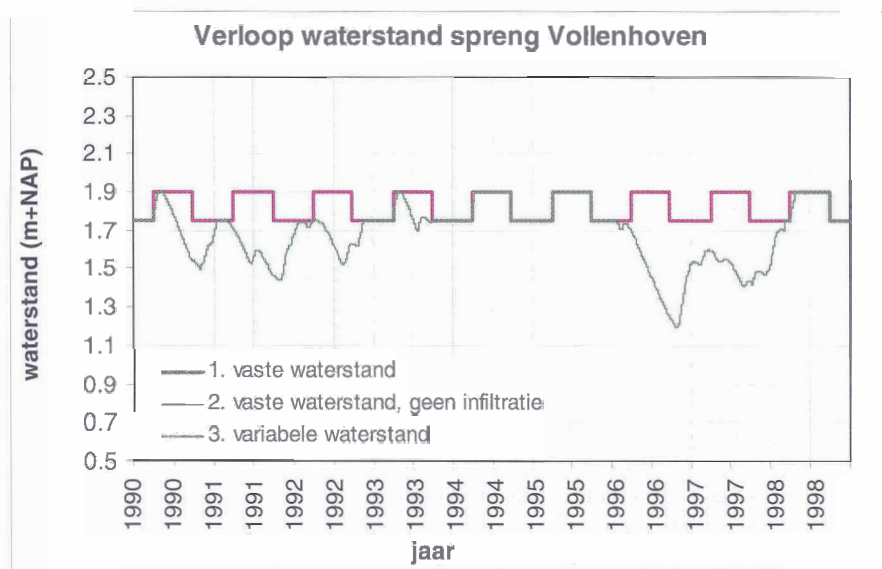
Bij methode 1 blijft de watergang op peil, waardoor door continue infiltratie de grondwaterstand het minst ver uitzakt. Bij methode 2 blijft het oppervlaktewater eveneens op peil, maar hier zakt de grondwaterstand juist erg ver uit doordat er helemaal geen infiltratie meer is. Methode 3 houdt het midden tussen beide andere benaderingen. Het peil in de watergang zakt in de loop van het seizoen uit door wegzijging en verdamping. De grondwaterstand daalt gelijk op met het waterpeil.

Het verschil in de berekende grondwaterstand tussen de benaderingen in een droge zomer als 1996 is circa 0,2 m. Op landgoed Vollenhoven is met het oog op de natuur inlaat van gebiedsvreemd water ongewenst. Voor de wateraanvoer is het landgoed afhankelijk van de sprengen. In het genoemde onderzoek zijn maatregelen doorgerekend die gericht zijn op herstel van de sprengafvoer. Een fout van 0,2 m in de voorspelde grondwaterstand kan dan leiden tot een significante over- of juist onderschatting van het effect van de maatregelen. In dit specifieke geval is er geen meetreeks beschikbaar van het waterpeil van de spreng. Bij kleine sprengen zal dit vaker het geval zijn. Toetsing van het model aan gemeten waarden is dus niet mogelijk. Hierdoor wordt de zorgvuldige keuze van modelschematisatie des te belangrijker.

In GGOR-berekeningen kan een afwijking in de berekende grondwaterstand van 0,2 m er bijvoorbeeld toe leiden dat voor vegetatietypes een hoge doelrealisatie wordt voorspeld, terwijl ze in werkelijkheid niet kunnen voorkomen. Als voor een studie een dergelijke afwijking relevant is, moet in de modellering rekening gehouden worden met het effect van uitzakkende waterlopen. Dit is in het gebied van HDSR vooral van belang voor de flanken van de Utrechtse Heuvelrug. In kwelgebieden of polders met voldoende wateraanvoer, zakken waterlopen veel minder uit en is dit modelleeraspect dan ook minder van belang.



Figuur 4: Verloop stijghoogte bij spreng Vollenhoven.



Figuur 5: Verloop waterstand spreng Vollenhoven.

III Ruimtelijk detailniveau modelnetwerk voor het bepalen van de GGOR

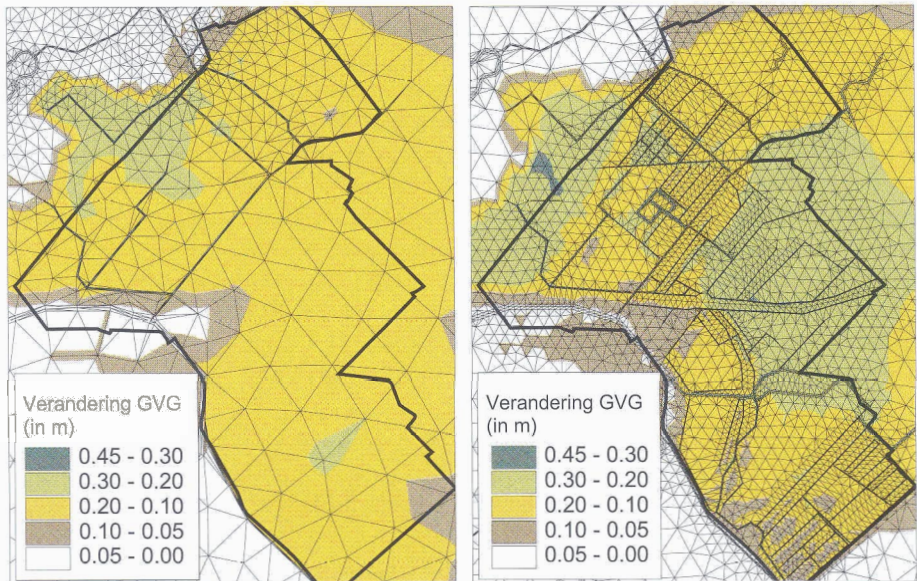
GGOR wordt wel gedefinieerd als *“De optimalisatie van de doelrealisatie van de verschillende grondgebruikersfuncties”* (HDSR, 2003). In een gebied als Groenraven-Oost liggen de verschillende grondgebruikersfuncties versnipperd in kleine gebiedjes dwars door elkaar. De ervaring binnen de Groenraven-projecten leert dat de doelrealisatie pas geoptimaliseerd kan worden als de nauwkeurigheid van de modellering voldoende hoog is. De nauwkeurigheid van de modelresultaten is afhankelijk van het ruimtelijk detailniveau van de berekening. Hierbij zijn drie zaken van belang:

- de knooppuntsdichtheid van het modelnetwerk;
- de wijze waarop de watergangen gemodelleerd worden;
- de wijze waarop regionaal en lokaal detailniveau zijn afgestemd.

In een gebied als Groenraven-Oost spelen regionale elementen als de Utrechtse Heuvelrug, Amsterdam-Rijnkanaal, Kromme Rijn en drinkwaterwinningen een belangrijke rol in de geohydrologie. Een goed model zal deze elementen moeten bevatten en dus regionaal moeten zijn in opzet. Indien antwoorden gewenst zijn op perceelsniveau, is in het studiegebied een lokale verfijning noodzakelijk. Het Groenraven-Oost model (Grontmij, 2003a) is een regionaal opgezet model met een knooppuntsafstand van 500 m, met lokale verfijningen met een knooppuntsafstand van circa 50 m. Bij de verfijning zijn alle relevante waterlopen expliciet, dat is aanwijsbaar in het netwerk, gemodelleerd. Hier liggen de knopen op afstanden van circa 25 m in de richting langs de waterlopen en circa 1 tot 10 m loodrecht op de waterloop, afhankelijk van de breedte van de watergang.

Aan de hand van twee berekeningen wordt het verschil getoond tussen een fijn netwerk (zoals hierboven beschreven) en grof netwerk (knooppuntsafstand 150 tot 300 m). De berekeningen zijn uitgevoerd voor het gebied Hooge Woerd/Rijnwijck. De eerste berekening is een berekening met de eerste versie van het Groenraven-model (Grontmij, 2001). Dit model

is voor een ander aandachtsgebied gemaakt, zodat het gebied bij Hooge Woerd/Rijnwijk niet verfijnd was. De tweede berekening is uitgevoerd met een tweede versie van het model (Grontmij, 2003a) dat wel op de locatie verfijnd is. In figuur 6 zijn beide netwerken te zien. Met beide modellen is bepaald wat het effect is van 0,5 m hogere stuwpeilen.



Figuur 6: Verandering gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand (GVG) bij peilopzet berekend met twee verschillende modellen;

In figuur 6 is voor beide berekeningen de veranderingen van de GVG weergegeven. In de figuur is te zien dat op hoofdlijnen het effect van beide berekeningen vergelijkbaar is. In beide gevallen varieert de stijging van de GVG in het grootste deel van het gebied tussen 0,1 en 0,3 m. Vergelijking van de figuren laat twee duidelijke verschillen zien. Ten eerste laat berekening 2 veel meer detail zien dan berekening 1. Uit de tweede figuur komt goed naar voren dat het effect in de buurt van watergangen groter is dan op enige afstand daarvan. Dit is vooral duidelijk te zien in het zuidelijk deel van het studiegebied. Het tweede duidelijke verschil is hoogte van de berekende effect aan de oostkant van het gebied. In de meer gedetailleerde berekening is het effect circa 0,1 m groter dan in de minder gedetailleerde berekening. Dit wordt vooral veroorzaakt door de manier waarop de watergangen in het model worden ingevoerd.

Per onderzoek zal de vraag gesteld moeten worden of een hoog detailniveau wel noodzakelijk is. HDSR wenst de GGOR op een schaalniveau van 25 bij 25 m te bepalen. Naast een geschikte maaiveldhoogtekaart is dan ook een gebiedsdekkende GHG, GVG, GLG en kwelkaart op dit schaalniveau nodig. Om deze kaarten voldoende nauwkeurig te maken op basis van modelberekeningen, worden er hoge eisen gesteld aan het detailniveau van het model. Hoewel er diverse methoden zijn om minder gedetailleerde modelresultaten naar te schalen (RIZA, 2002), ligt het wellicht meer voor de hand om de hiervoor benodigde data (AHN, ligging watergangen) al in te brengen in de modelberekening.

Modeloptimalisatie

Op basis van opgedane ervaring met de in dit artikel genoemde studies heeft HDSR besloten de modelcode SIMGRO te gaan gebruiken voor de uitwerking van haar beleid en planning. Een bijkomend argument is de ervaring die is opgedaan met de mogelijkheden voor modeloptimalisatie.

Met SIMGRO kunnen vlakdekkende schattingen van de bodemvochtcondities en actuele evapotranspiratie worden berekend. Wanneer puntmetingen van bodemvocht en actuele verdamping beschikbaar zijn, kan ook daarmee worden gekalibreerd en gevalideerd. Daarnaast zijn er de afgelopen jaren steeds meer vlakdekkende schattingen van bodemvochtcondities en evapotranspiratie beschikbaar gekomen door middel van remote sensing. De mogelijkheden die het SEBAL-algoritme (Bastiaanssen e.a., 1998) biedt zijn hier een goed voorbeeld van. In een drietal bij de auteurs bekende studies is al gecombineerd gebruik gemaakt van zowel SIMGRO als remote sensing beelden (Diaz e.a., 2003, Schuurmans e.a., 2003, Hermans & Van Walsum, 2004). Gegeven de ontwikkelingen op het vlak van de data-assimilatie (Troch e.a., 2003 & McLaughlin, 2003) zullen de mogelijkheden de komende jaren naar verwachting verder toenemen.

Conclusies

Met deze drie berekeningen is het mogelijk een aantal antwoorden te geven op de gestelde vragen.

- Het blijkt goed mogelijk voor WB21- en GGOR-vragen hetzelfde model te gebruiken, mits het oppervlaktewatersysteem mee gemodelleerd is en de tijdstap eenvoudig gevarieerd kan worden. Daarbij is het voor de neerslag-afvoermodellering van belang dat volledige afvoergebieden gemodelleerd worden. Voor een GGOR-onderzoek is dit vaak minder relevant. Gedetailleerde uitvoer in de vorm van waterbalansen is nuttig om inzicht te krijgen in (onverwachte) uitkomsten.
- Met name in gebieden met droogvallende watergangen is een directe interactie tussen grond- en oppervlaktewatersysteem van belang. Een te eenvoudige schematisatie kan in het hier getoonde voorbeeld fouten in de berekende grondwaterstanden veroorzaken van meer dan 0,2 m. Gelet op de doelen van de GGOR-berekeningen is dit een significante fout. In het beheersgebied van HDSR dient hier vooral op de flank van de Utrechtse Heuvelrug rekening mee gehouden te worden.
- De berekening met verschillende detailniveau's qua modelnetwerk laat zien dat meer ruimtelijk inzicht binnen een peilvak wordt verkregen, wanneer alle waterlopen expliciet in het modelnetwerk worden opgenomen. Dit inzicht is van belang om concrete oplossingen aan te kunnen geven voor verdrogingsbestrijding op het hier gepresenteerde gebiedsniveau en deze concreet te kunnen maken voor inrichtingsplannen.

Literatuur

Bastiaanssen, W.G.M., M. Menenti, R.A. Feddes en A.A.M. Holtslag (1998) The Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL): Part 1 formulation; in: *Journal of Hydrology*, 212-213, pag 198–212.

- Commissie WB21 (2000)** Waterbeleid voor de 21e eeuw, Geef water de ruimte en de aandacht die het verdient; Advies van de Commissie Waterbeheer 21^e eeuw, 31 augustus 2000.
- Diaz, R.A., E.P. Querner, J.M. Hermans en M. Rus (2003)** Calibration and validation of the hydrological model SIMGRO with Landsat imagery; Paper presented at the Remote Sensing Conference Anias XI SBSR, Belo Horizonte, Brasil, 5–10 April 2003, INPE: 2467–2474.
- Grontmij (2001)** Groenraven-Oost; Maatregelen ter bestrijding van de verdroging; Doc.no. 13/99012014/PS,D1.
- Grontmij (2003a)** Hooge Woerd – Rijnwijck; Maatregelen ter bestrijding van de verdroging; Doc.no. 13/99037271/TW,D1.
- Grontmij (2003b)** Landgoed Vollenhoven; Maatregelen ter bestrijding van de verdroging; Doc.no. 13/99037426/TW,D1.
- HKV en Alterra (2001)** Klimaatstudie De Stichtse Rijnlanden; Fase 1: aanpak.
- Hermans, A.G.M. en P.E.V. van Walsum (2004)** Duurzaam Waterbeheer Langbroekerwetering. Fase 1 Modelbouw en Calibratie; Alterra-rapport, in voorbereiding.
- Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden (2003)** GGOR en Peilbesluiten; Interne Notitie.
- McLaughlin, D. (2003)** An integrated approach to hydrologic data assimilation: interpolation, smoothing en filtering; in: *Advances in Water Resources*, 25, pag 1275–1286.
- NBW (2003)** Nationaal Bestuursakkoord Water, 2 juli 2003, Den Haag.
- Querner, E.P. en P.J.T. van Bakel (1989)** Description of regional groundwater model SIMGRO; Winand Staring Centre Report 7, Wageningen, 44 pag.
- RIZA (2002)** Regionale standplaatsmodellering voor terrestrische vegetatie: Naar een generieke methode voor het neerschalen van hydrologische modeluitkomsten ten behoeve van ecohydrologische toepassingen; RIZA-rapport 2002.035.
- Schuurmans, J.M., P.A. Troch, A.A. Veldhuizen, W.G.M. Bastiaanssen en M.F.P. Bierkens (2003)** Assimilation of remotely sensed latent heat flux in a distributed hydrological model; in: *Advances in Water Resources*, 26 (2), pag 151–159.
- Troch, P.A., C. Paniconi en D.B. McLaughlin (2003)** Data assimilation and catchment-scale hydrological modeling; in: *Advances in Water Resources*, 26 (2), pag 131–135.
- Walsum, P.E.V. van, P.F.M. Verdonschot en J. Runhaar (2002)** Effects of climate and land-use change on lowland stream ecosystems; Alterra-rapport 523, Wageningen.