



Peter Droogers, FutureWater

Walter Immerzeel, FutureWater

Wat is het beste model?

Waterbeheer- en waterbeleidkeuzes worden vaak ondersteund door simulatiemodellen, waarbij de vraag regelmatig rijst wat het beste model is. In de internationale literatuur wordt uitgebreid aandacht aan deze vraag besteed, maar in de Nederlandse waterwereld wordt er vaak vanuit gegaan dat meer fysica en meer gekoppelde modellen gelijk staan aan een beter model. In dit artikel geven we enkele voorbeelden en introduceren we een nieuw type model dat voor sommige toepassingen 'het beste' model is.

Het gebruik van hydrologische simulatiemodellen stamt uit de tijd van het befaamde Stanford Watershed Model¹⁾. Het gebruik van modellen werd indertijd aangeprezen met argumenten als *data for simulation is easily obtained on magnetic tape from the Climatic Data Service or the Geological Survey*. Tegenwoordig is het gebruik van simulatiemodellen algemeen aanvaard, maar het is goed om te beseffen dat de kern voor de toepassing van modellen het beter begrijpen van processen is en scenario-analyse²⁾. Het beter begrijpen van processen valt uiteen in drie deelaspecten. Ten eerste kunnen modellen resultaten op een ongeëvenaarde hoge ruimtelijke resolutie weergeven, die met metingen niet te bereiken is. Ten tweede geldt hetzelfde voor de temporele resolutie: modellen kunnen resultaten geven op elk gewenste tijdschaal. Ten slotte worden modellen steeds vaker ingezet voor het bepalen van processen die moeilijk, of alleen met complexe meetmethoden, waarneembaar zijn. Typische voorbeelden van dit laatste zijn capillaire opstijging, grondwateraanvulling en het onderscheid tussen bodem verdamping en gewas transpiratie.

Een veel voorkomende discussie bij het gebruik van modellen voor scenario-analyses is de betrouwbaarheid van de modellen. In de wetenschappelijke literatuur is, uiteraard, meer aandacht voor het ontwikkelen en testen van modellen op hun nauwkeurigheid dan op het gebruik van modellen voor scenario-analyses. Meer dan 90 procent van de literatuur op het gebied van hydrologische modellen eindigt met de conclusie dat 'het model in staat is de werkelijkheid betrouwbaar na te bootsen', waarna een verbeterde versie van het model wordt gepubliceerd met een gelijke conclusie. Uiteraard kunnen we nu alleen dankzij dit wetenschappelijk onderzoek modellen in de dagelijkse praktijk toepassen. De vraag hoe

betrouwbaar modellen nu eigenlijk moeten zijn om te worden toegepast voor scenario-analyses wordt echter zelden gesteld. Er zijn aanwijzingen dat zolang de betrouwbaarheid binnen zekere grenzen blijft, modellen al redelijk snel geschikt zijn voor het uitvoeren van scenario-analyses³⁾. Dit wordt wel als volgt samengevat: 'De relatieve nauwkeurigheid van modellen is vaak vele malen groter dan de absolute nauwkeurigheid. Een concreet voorbeeld is dat het stukken makkelijker is de extra wateraanvoer-behoefte te bepalen onder klimaatverandering, dan om de totale hoeveelheid exact te bepalen met modellen'.

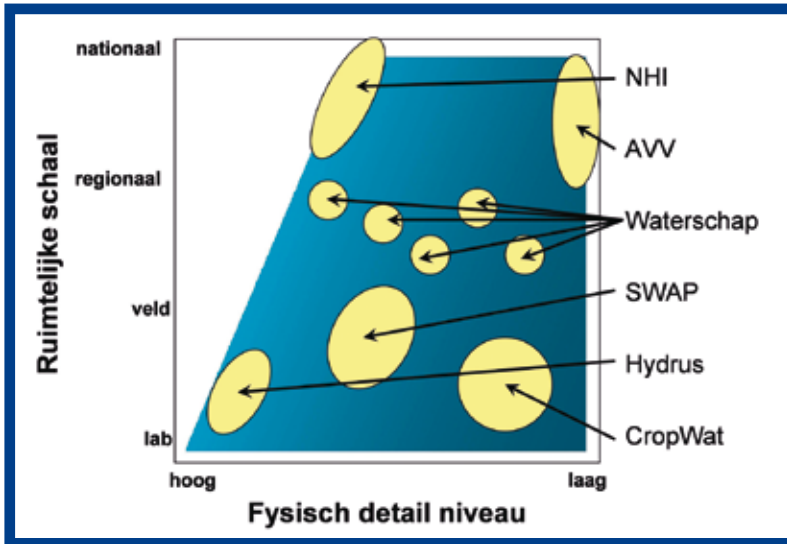
Modelkeuze

In Nederland wordt een beperkt aantal modellen gezien als de standaard. Enkele van de vaak toegepaste modellen zijn SOBEK, ModFlow, Simgro, SWAP en afgeleide of gecombineerde versies hiervan. Wereldwijd zijn echter duizenden modellen beschikbaar. Uiteraard betekent dit niet dat er evenzoveel modellen zijn, maar verschillende modeloverzichten komen toch vaak op 100 tot 500 hydrologische modellen die regelmatig gebruikt worden⁴⁾. De vraag is dan ook gerechtvaardigd welk model het beste is. Er lijkt in Nederland een algemene consensus te zijn dat complexere modellen beter zijn. Geluiden dat dit niet in alle gevallen tot het gewenste eindresultaat leidt, worden zelden gehoord⁵⁾. Complexe, meer fysisch georiënteerde modellen zijn in vele gevallen noodzakelijk, maar dan moet altijd vooraf een analyse worden uitgevoerd over de noodzakelijke hoeveelheid detail. In de internationale literatuur is hier veel aandacht voor. In een recent artikel pleit een toonaangevende hydroloog voor een vraag- en hypothesegedreven hydrologie, waarin data-analyse en een *top-down*-modellerbenadering leiden tot algemene verklaringen en begrip van trends en patronen⁶⁾. De oorsprong van deze verandering ligt besloten in het

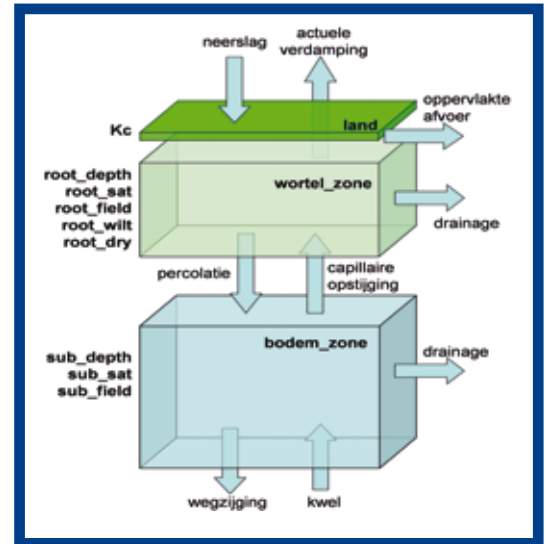
feit dat een aantal fundamentele reductieproblemen ontstaat in het streven naar het fysisch gebaseerde algemeen toepasbare supermodel: gebrekkige metingen van randvoorwaarden, onzekerheden in modelparameters en equifinaliteit en onduidelijkheid over het generalisatieniveau van de model fysica⁷⁾.

Een veel gebruikte indeling van modellen of beter gezegd het domein waar een bepaald probleem ligt, is te zien in afbeelding 1. In deze figuur zijn de twee belangrijkste probleemdomen weergegeven: de ruimtelijke schaal en de hoeveelheid fysisch detail die nodig is om de vraag te beantwoorden. Er moet een afweging gemaakt worden tussen fysisch detail en ruimtelijke schaal. Teveel detail op een te hoog ruimtelijk schaalniveau is onmogelijk in verband met dataproblemen, rekentijden en onverwachte neveneffecten door samenhang in processen. In de figuur zijn willekeurig enkele modellen genoemd, waarbij de exacte locatie van het betreffende model niet precies valt te bepalen. Het SWAP-model wordt bijvoorbeeld meestal op veldschaal gebruikt, maar ook wel voor laboratoriumproeven gebruikt en gedistribueerd op regionale en nationale schaal. De figuur laat ook de vele waterschapsmodellen zien, die vaak bestaan uit een combinatie van SIMGRO, ModFlow en SOBEK, al of niet gekoppeld toegepast. Uiteraard is het Nationaal Hydrologisch Instrumentarium (NHI) genoemd als het belangrijkste landsdekkende model met een hoog fysisch detailniveau⁸⁾.

De reden voor het schrijven van dit artikel komt voort uit het model AVV, rechtsboven in afbeelding 1. AVV staat voor 'Aandacht Voor Veiligheid' en is een gezamenlijk project van DG Water en de programma's Klimaat voor Ruimte en Leven met Water⁹⁾. Een onderdeel van deze studie was het bepalen van de te verwachte wateroverlast door klimaatverandering op nationale schaal



Afb. 1: Indeling van modellen met enkele willekeurig gekozen modelnamen (gebaseerd op⁴⁾).



Afb. 2: Schematische opbouw van HydroS.

als gevolg van extreme neerslag. De vraag ging behelste niet alleen de wateropgave, zoals gedefinieerd in het Nationaal Bestuursakkoord Water ('inundatie vanuit oppervlaktewater'), maar ging vooral over de werkelijke lokale wateroverlast ten gevolge van extreme neerslag. Er bleek geen geschikt instrumentarium te bestaan dat in een zeer beperkte tijd een redelijke uitspraak hierover kon geven. Er is toen besloten een model op te zetten dat bestaat uit zogenoemde beslisregels, waarbij de fysische gevoeligheid van gebieden werd omgezet in millimeters wateroverlast ten gevolge van klimaatverandering.

Interessant was het feit dat de resultaten van dit simpele beslisregelmodel direct werden gebruikt voor verschillende andere studies, zoals het bepalen van de invloed van klimaatverandering op het Gelderse Bos, provinciale klimaat-effectatlassen en natuurverkenning 2011. De kaarten, die met een bepaald doel in zeer korte tijd waren gemaakt (globale inschatting ruimtelijke verdeling wateroverlast in 2050), werden toegepast zonder in eerste instantie veel aandacht te schenken aan geschiktheid en/of validatie. Op grond hiervan lijkt het duidelijk dat behoefte bestaat aan een relatief simpel model op landelijke schaal, dat relatief snel ingezet kan worden voor scenario-analyses. Afbeelding 1 laat een duidelijke lacune zien op het nationaal niveau, waarbij tussen het complexe Nationaal Hydrologisch Instrumentarium en het zeer eenvoudige 'Aandacht Voor Veiligheid' geen beschikbare modellen zijn.

Modelopzet HydroS

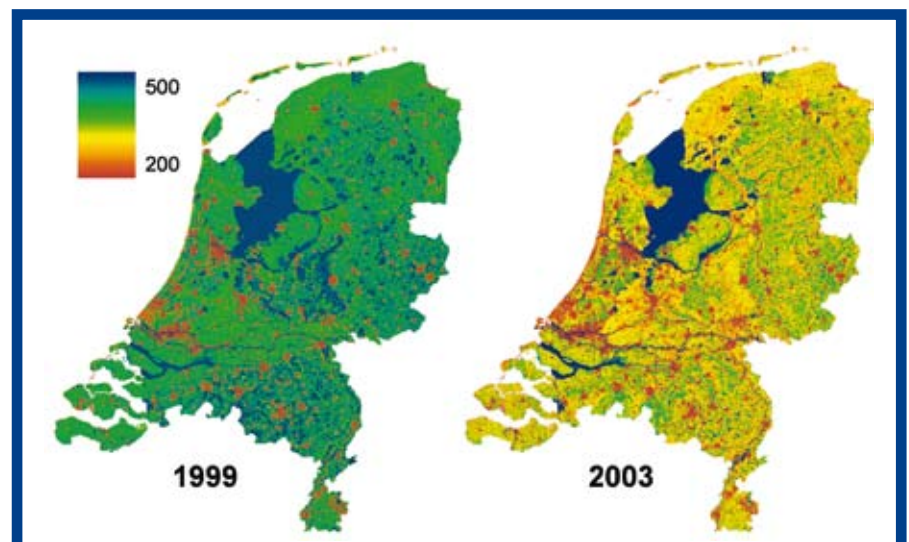
Op grond van het voorgaande lijkt een sterkte behoefte te bestaan aan een vereenvoudigd landelijk hydrologisch model. Het uitgangspunt van het te ontwikkelen model, verder aangeduid als HydroS, is een hydrologische aanpak, waarbij het model in relatief korte tijd opgezet kan worden en wijzigingen kunnen worden doorgevoerd op basis van algemeen beschikbare landsdekkende geografische gegevens. Hierbij moet gedacht worden aan zowel het aanpassen van ingebouwde processen, als het doorrekenen van gewijzigde omstandigheden (scenario-

analyse). Op grond hiervan is gekozen voor een op een raster gebaseerd model met geparameteriseerde procesbeschrijvingen in een flexibele programmeeromgeving. Het basisconcept bestaat uit een tweelaags gekoppeld bakjesmodel (afbeelding 2) en een vegetatielaag. Het *root-zone*-bakje heeft een aantal kenmerken dat is afgeleid van bodemfysische eigenschappen die de fluxen in en uit deze laag bepalen en dus de hoeveelheid water in deze laag. De *sub-zone*-kenmerken zijn eveneens gebaseerd op bodemfysische eigenschappen. De fluxen in HydroS worden berekend aan de hand van de actuele hoeveelheid vocht in een laag en de eigenschappen daarvan. Een complete beschrijving van het model is elders te vinden¹⁰⁾. Hier worden alleen enkele voorbeelden gegeven.

De bepaling van de verdamping heeft plaats volgens de standaard Feddesfunctie:

$$\begin{aligned} ET_{pot} &= ET_{ref} * Kc \\ ET_{reductionWet} &= \text{if} (RootWater > root_sat, 0, 1) \\ ET_{reductionDry} &= (RootWater - root_dry) / (root_wilt - root_dry) \\ ET_{act} &= ET_{pot} * (ET_{reductionWet} * ET_{reductionDry}) \end{aligned}$$

Afb. 3: Verdamping bepaald met HydroS voor de periode april tot en met september.



De drainageflux wordt bepaald door de actuele hoeveelheid water in de *root-zone* en de bodemfysische eigenschappen:

$$\text{drainage} = (RootWater - root_wilt) * ((RootWater - root_wilt) / (root_sat - root_wilt)) * \text{DrainCoeff}$$

Als laatste voorbeeld wordt de capillaire flux bepaald aan de hand van de relatieve vochtigheid in de *root-zone* en de *sub-zone*:

$$\begin{aligned} \text{RootRelWet} &= (RootWater - root_dry) / (root_wilt - root_dry) \\ \text{SubRelWat} &= (\text{SubWater} - sub_field) / (sub_sat - sub_field) \\ \text{CapRise} &= \text{CapMax} * (1 - \text{RootRelWet}) * \text{SubRelWat} \end{aligned}$$

Het model is geprogrammeerd in de PCRaster-omgeving. PCRaster is speciaal ontwikkeld voor het bouwen van dynamische ruimtelijke-tijdmodellen¹¹⁾ en wordt gebruikt in diverse andere toepassingen, variërend van luchtkwaliteit tot winderosie en Rijnafvoeren. De eerste versie van het HydroS-model is opgezet met een ruimtelijke resolutie van 250 bij 250 meter en rekent met tijdstappen van een dag. Rekentijden zijn beperkt en op een normale pc kost een jaar doorrekenen minder dan vijf minuten. Gezien de flexibi-

liteit van het systeem kan relatief eenvoudig voor andere ruimtelijke resoluties en tijdstappen worden gekozen.

De belangrijkste invoergegevens van het model zijn: landgebruik, bodem, maaiveldhoogte, gemiddeld openwaterpeil, neerslag en referentieverdamping.

Een belangrijk gedeelte van deze gegevens is afkomstig van de dataset die is ontwikkeld in het kader van het NHI. Daarnaast zijn aanvullende gegevens verkregen uit de Handleiding Waterstaatkundig Informatie-Systeem van Rijkswaterstaat, afdeling Geo-Advisering en klimaatgegevens van het KNMI.

Resultaten

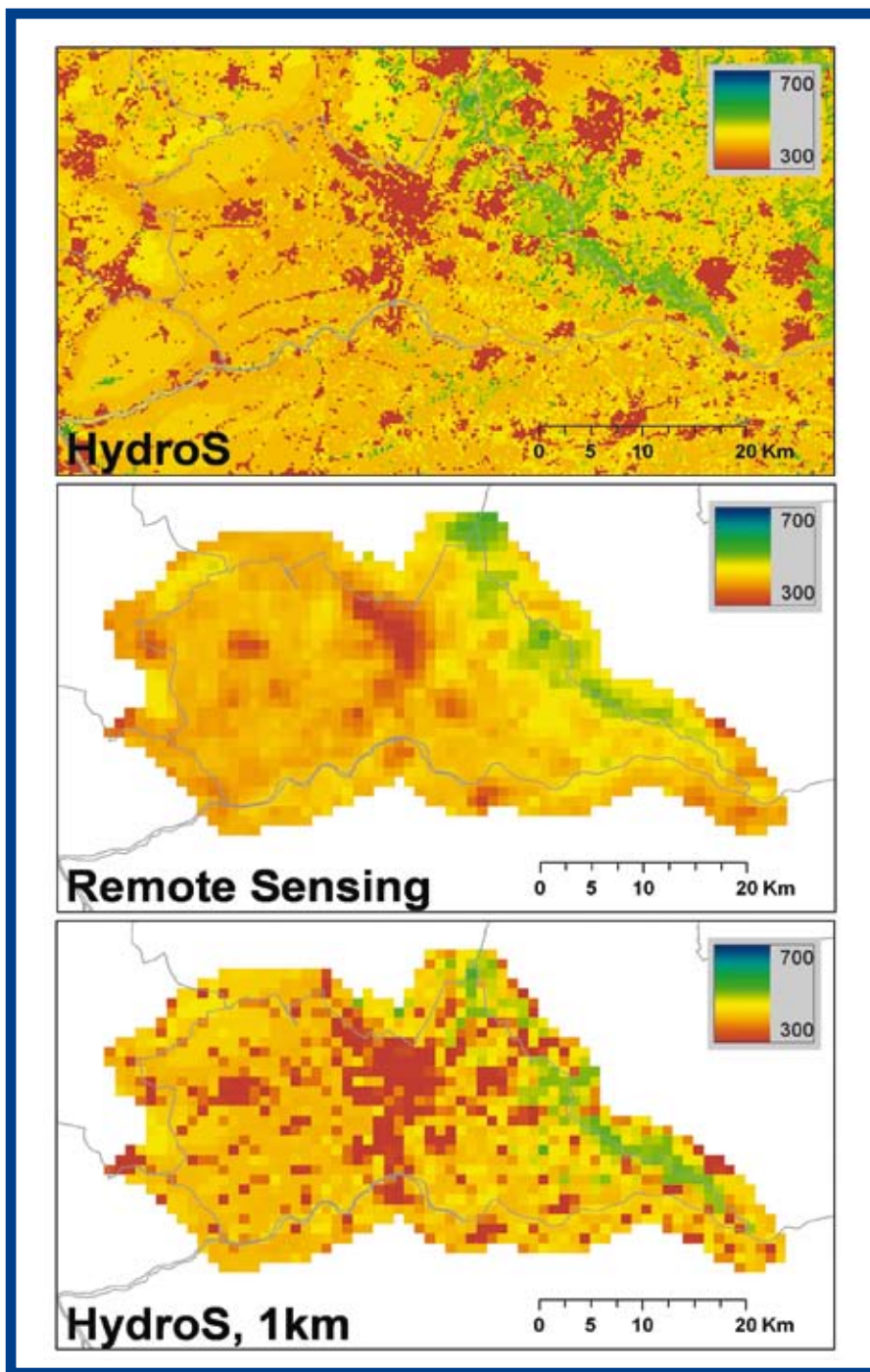
Een typische toepassing van het model is het bepalen van de actuele verdamping en verdampingstekorten. In afbeelding 3 is duidelijk het verschil te zien tussen het droge jaar 2003 en het relatief natte jaar 1999 (903 mm neerslag bij De Bilt). Gedurende het nattere jaar laten bosgebieden in vergelijking met ander landgebruik een relatieve hoge verdamping zien, terwijl in 2003 de bossen op de droogte gevoelige gronden duidelijk een verdampingstekort hebben.

Deze verdamping uit HydroS is vergeleken met verdampingsbeelden van het beheergebied van het Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden. Afbeelding 4 laat voor de zomerperiode 2000 deze vergelijking zien. De oorspronkelijke resolutie van 250 meter van HydroS is gewijzigd naar 1000 meter, om de vergelijking met satellietbeelden te maken. Voor HydroS bedraagt de gemiddelde verdamping 395 millimeter en voor de satellietbeelden 388 millimeter gedurende het zomerhalfjaar 2000. Ook de ruimtelijke patronen komen goed overeen, waarbij opvalt dat de satellietbeelden minder scherpe begrenzingen laten zien dan de HydroS-kaarten. Resultaten voor de overige jaren zijn te zien in de tabel.

Voor de Noordoostpolder zijn wekelijkse verdampings- en afvoergegevens beschikbaar voor het jaar 1995¹²⁾. De wekelijkse verdampingsgegevens uit deze studie en de resultaten van HydroS komen goed overeen (zie afbeelding 5). De jaarlijkse verdamping uit de waterbalansstudie bedroeg 487 millimeter; door HydroS werd 470 millimeter berekend. De patronen qua afvoer lijken in de tijd gelijk, maar de exacte hoogte van de afvoer laat verschillen zien van gemiddeld vijf millimeter per week tot enkele uitschieters van 15 millimeter per

Vergelijking tussen de zomerverdamping volgens het HydroS-model en de satellietbeelden (remote sensing) voor het beheergebied van Stichtse Rijnlanden (in millimeters).

	HydroS	remote sensing
1995	336	340
1998	377	340
1999	383	408
2000	395	388



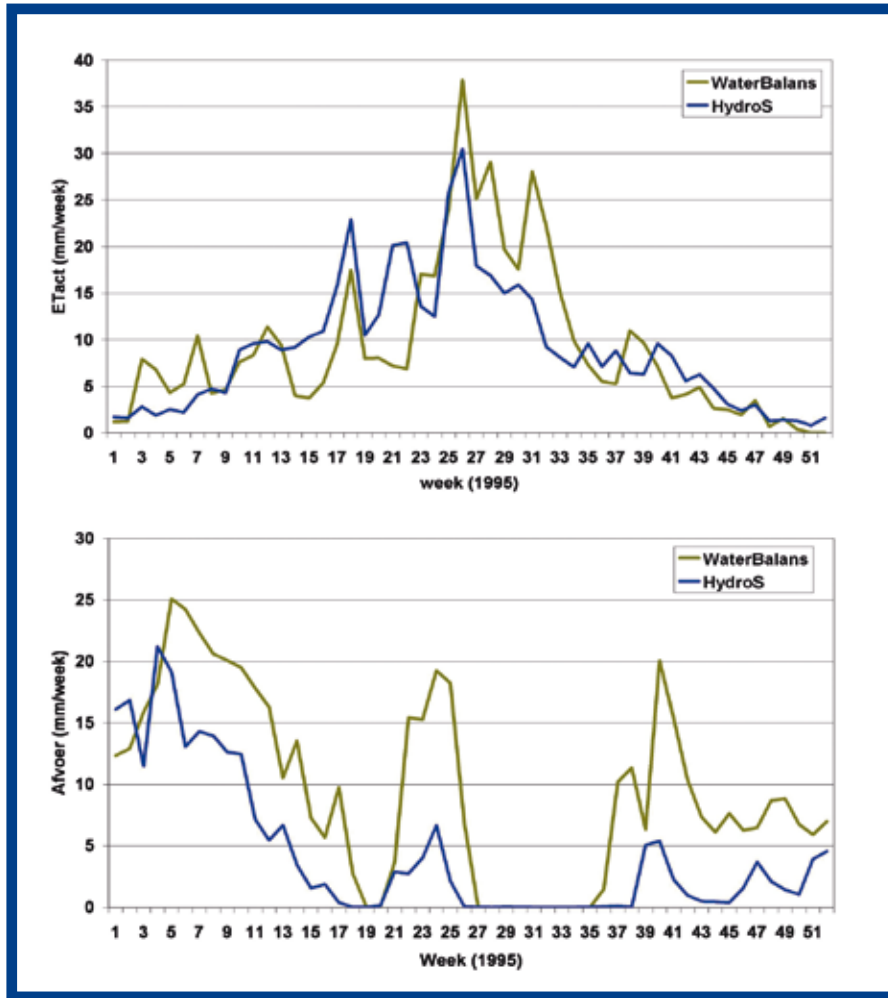
Afb. 4: Vergelijking verdamping (2000) volgens het HydroS-model en satellietbeelden voor het gebied van de Stichtse Rijnlanden. Boven de oorspronkelijke resolutie van 250 meter en onder opgeschaald naar 1000 meter.

week. Het model berekent structureel te lage afvoeren, wat verklaard zou kunnen worden door het niet meenemen van wateraanvoer, een onjuiste inschatting van de kwel en/of het gebruik maken van klimaatgegevens van De Bilt. Een toekomstige verbetering op dit gebied is het gebruik maken van ruimtelijke regenradargegevens om het model te voeden. Op dit moment zijn die gegevens echter nog niet vrij toegankelijk.

Als laatste zijn de HydroS-resultaten vergeleken met dagelijkse afvoergegevens van de polder Quarles van Ufford in het beheergebied van het Waterschap Rivierenland¹³⁾. In afbeelding 6 zijn de dagelijkse afvoeren geplot zoals gemeten aan het gemaal Quarles van Ufford. Deze afvoeren

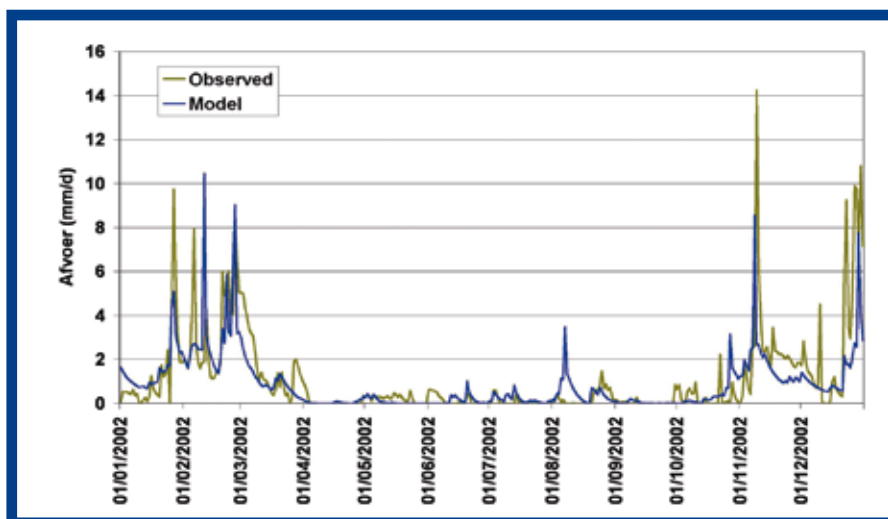
zijn gecorrigeerd voor afwijkingen ten gevolge van verschillen in kwel/wegzijing en wateraanvoer. De dagelijkse pieken en de hoogte van de pieken komen redelijk overeen. Verschillen zijn te verklaren door het niet meenemen van routing in de huidige versie van HydroS.

Bovengenoemde resultaten zijn allemaal verkregen met een versie van het model zonder enige vorm van kalibratie te hebben toegepast of een gedetailleerdere analyse van de gebruikte invoergegevens uit te voeren. Ook bevat het model nog geen routingmodule voor het oppervlaktewater. De resultaten laten echter zien, dat vooral de verdamping en in wat mindere mate afvoeren, al goed zijn te schatten.



Afb. 5: Vergelijking wekelijkse actuele verdamping en afvoer (1995) volgens het HydroS-model en metingen voor de Noordoostpolder.

Afb. 6: Vergelijking afvoer (2002) volgens het HydroS-model en metingen voor het gebied Quarles van Ufford in Rivierland.



Conclusies

HydroS is een voorbeeld van een simpel model, dat relatief snel is opgezet en zonder enige vorm van kalibratie al redelijk betrouwbare resultaten oplevert. Momenteel wordt gewerkt aan een verdere validatie en wordt een vereenvoudigde routingroutine ingebouwd. Daarnaast wordt HydroS nu ingezet om een aantal klimaatscenario's door te rekenen voor het bepalen van landelijke wateroverlast en droogte onder verschil-

lende te verwachte land- en klimaatveranderingen.

Het is van belang dat bij elke studie wordt nagegaan welk model het meest geschikt is om de gestelde vragen te beantwoorden. In dit artikel hebben we laten zien dat de keuze in veel gevallen op een gedetailleerd model zal vallen, maar dat in andere gevallen een simpele aanpak voldoet. De belangrijkste voordelen van een simpele aanpak zijn:

bepaalde databehoeftes, snelle rekentijd, snelle scenario-analyse en modelwijzigingen zijn makkelijk door te voeren.

Daarnaast kan een simpel model ook vaak voor een beter begrip en draagkracht bij beleidsmakers zorgen. Ten eerste kan relatief eenvoudig worden uitgelegd hoe het model werkt en ten tweede kan de modelinvoer worden aangepast, zodat het model meer 'eigendomsgevoel' geeft bij gebruikers van modelresultaten. Met andere woorden: het beste model bestaat niet, maar is afhankelijk van de vraag en de schaal.

NOTEN

- 1) Linsley R. (1976). Why Simulation? Hydrocomp Simulation Network Newsletter 8-5.
- 2) Droogers P. en W. Bastiaanssen (2002). Irrigation performance using hydrological and remote sensing modelling. Journal of Irrigation and Drainage Engineering 128, pag. 11-18.
- 3) Droogers P., A. Van Loon en W. Immerzeel (2008). Quantifying the impact of model inaccuracy in climate change impact assessment studies using an agro-hydrological model. Hydrology and Earth System Sciences 12, pag. 1-10.
- 4) Droogers P. en C. Perry (2008). Scenario based water resources model to support policy making. FutureWater. Rapport 79.
- 5) Rientjes T. en W. Zaadnoordijk (2000). Hoogwatervoorspelling: fysisch gebaseerde regen-afvoermmodellering. Dilemma of DeJa VU? Stromingen nr. 1, pag. 33-44.
- 6) Sivapalan M. (2009). The secret to 'doing better hydrological science': change the question!, Hydrol. Process. 23, pag. 1391-1396.
- 7) Kleinhans M., M. Bierkens en M. van der Perk (2009). Hydrologists, bring out shovels and garden hoses and hit the dirt. Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss. 6, pag. 6581-6610.
- 8) Boukes H. en T. Olsthoorn (2009). Opinie: Waarom wij in het NHL geloven. Stromingen nr. 2, pag. 75-80.
- 9) Aerts J., T. Sprong en B. Bannink (2008). Aandacht Voor Veiligheid. Rapportnummer 009/2008.
- 10) Droogers P. en W. Immerzeel (2009). NL-HydroS, a simplified universal hydrological scenario model. FutureWater.
- 11) Karssenberg D., P. Burrough, R. Sluiter en K. de Jong (2001). The PCRaster software and course materials for teaching numerical modelling in the environmental sciences. Transactions in GIS 5, pag. 99-110.
- 12) Bastiaanssen W. en S. Zwart (2005). Knelpunten in het waterbeheer van de Noordoostpolder. Remote sensing analyses ter ondersteuning van het waterstructuurplan. WaterWatch.
- 13) Schuurmans H., H. Niewold, G. van den Eertwegh en P. Droogers (2010). NBW-actueel: methodeontwikkeling voor wateropgaven met een bandbreedte. H₂O nr. 1, pag. 37-39.