
Actuele en kortetermijnvoorspellingen voor operationeel waterbeheer

Hanneke Schuurmans, Marc Bierkens en Frans van Geer¹

Het 'Hydrological Now- and Forecasting System (HNFS)', oftewel het hydrologische actuele- en korte termijn-voorspellingssysteem is ontwikkeld in het kader van het promotieonderzoek van Hanneke Schuurmans (verdediging 28 november 2008). In dit systeem worden nog weinig toegepaste hydrometeorologische data geïntegreerd met een ruimtelijk gedistribueerd hydrologisch model. Het is onmogelijk om in dit artikel de ontwikkelde methoden in enig detail te beschrijven. We volstaan daarom met het geven van een beknopt overzicht van de resultaten van het promotieonderzoek alsmede de belangrijkste toepassingsmogelijkheden en aandachtspunten. Voor een meer gedetailleerdere beschrijving wordt verwezen naar de genoemde wetenschappelijke artikelen of het proefschrift.

Inleiding

De hydrologische cyclus is de continue beweging van water tussen aarde en atmosfeer en speelt een belangrijke rol in ons klimaatsysteem. Computersimulatiemodellen die (een deel van) de hydrologische cyclus simuleren zijn een belangrijk instrument voor hydrologen. Met dergelijke modellen kunnen zij het hydrologische systeem beter begrijpen en beschrijven, zoals de verdeling van neerslag over de verschillende hydrologische compartimenten (bijvoorbeeld afvoer, bodemvocht en verzadigd grondwater). Als gevolg van de toename van ons inzicht in het functioneren van het hydrologische systeem, de rekenkracht van computers en het opkomen van Geografische Informatie Systemen (GIS), is de complexiteit van deze hydrologische modellen de laatste dertig jaar enorm toegenomen. Terwijl de ruimtelijke resolutie van deze modellen toeneemt, blijft de hoeveelheid beschikbare data, om deze modellen op eenzelfde ruimtelijke schaal van invoer-, kalibratie- en validatiegegevens te kunnen voorzien, achter.

Ondanks het feit dat er in Nederland gedetailleerde informatie beschikbaar is, en ook wordt toegepast in hydrologische modellering, over de ondergrond (Regis), bodems- oorten, hoogteligging (AHN) en landgebruik (LGN) ontbreekt hetzij de data, hetzij de toepassing van de ruimtelijke verdeling van de twee belangrijkste hydrologische invoervariabelen: neerslag en verdamping. Voor neerslag wordt veelal gebruik gemaakt van (ruimtelijke interpolatie van) gegevens uit enkele regenmeters afkomstig van het operationeel beschikbare regenmeternetwerk van het Koninklijk Nederlands Meteoro-

1 Hanneke J.M. Schuurmans (e-mail h.schuurmans@futurewater.nl) is per 1 januari 2009 werkzaam bij FutureWater, Costerweg 1G, 6702 AA Wageningen. Marc. F. P. Bierkens is werkzaam bij zowel de Universiteit Utrecht, departement Fysische Geografie, Postbus 80115, 3508 TC Utrecht alsmede bij Deltares, Postbus 85467, 3508 AL Utrecht, Frans C. van Geer is werkzaam bij Deltares, Postbus 85467, 3508 AL Utrecht.

logisch Instituut (KNMI). Deze regenmeters, met een temporele resolutie van een dag, hebben doorgaans een onderlinge afstand in de orde van 20 km. Bij de veelgebruikte ruimtelijke interpolatie (Thiessen polygonen) wordt niet de vraag gesteld wat de ruimtelijke variabiliteit van neerslag, en dus de onzekerheid van deze neerslaghoeveelheden, is. Recente berichten in de krant (Volkskrant, 2008) over wateroverlast veroorzaakt door onweersbuien met een zeer lokaal karakter tonen aan dat de ruimtelijke verdeling van neerslag wel degelijk van groot belang is voor hydrologen. Voor verdamping wordt veelal gebruik gemaakt van gegevens (temperatuur en inkomende straling) gemeten op een meest dichtbij gelegen meteorologisch station: vijfendertig stations verdeeld over heel Nederland, zie ook Bastiaanssen en Roozkrans, (2003). Deze gegevens worden met een bepaalde methodiek (Makkink) ‘vertaald’ naar een verdamping waarbij verondersteld wordt dat een gewas over voldoende water en voldoende nutriënten beschikt om zgn. potentieel te kunnen verdampen. Vervolgens wordt deze puntmeting gebruikt om vlakdekkende informatie te generen, waarbij gebruik wordt gemaakt van zogenaamde gewasfactoren welke zijn gekoppeld aan het landgebruik (LGN). Deze wordt vervolgens weer ‘vertaald’ naar een werkelijke (actuele) verdamping waarbij gebruik wordt gemaakt van de op dat moment heersende vochtcondities in de bodem, welke volgen uit hydrologische modelberekeningen en de zogenaamde Feddes-curve welke aangeeft bij welke vochtcondities er verdampingsreductie plaatsvindt. Dit brengt dus vier bronnen van onzekerheid met zich mee: (1) de onzekerheid van de gewasfactoren; (2) de onzekerheid van het LGN bestand: landgebruik kan zijn veranderd zonder dat dit nog is meegenomen in het meest recente LGN-bestand; (3) de onzekerheid van de gemodelleerde vochtcondities en (4) de onzekerheid in de parameters van de Feddes-curve.

De beschikbare hydrologische calibratie- en validatiedata in Nederland zijn over het algemeen beperkt tot enkele puntmetingen van grondwaterstanden, met doorgaans een temporele resolutie van twee metingen per maand, en afvoer. Het ruimtelijk interpreteren van grondwaterstanden gaat gepaard met de nodige onzekerheid. Afvoeren daarentegen geven geïntegreerde informatie over de hydrologische toestand van het gehele stroomopwaartse gebied, niet op hetzelfde detailniveau als de ruimtelijke resolutie van de modellen. Metingen van bodemvocht ontbreken veelal in Nederland.

Het goede nieuws is, dat de vlakdekkende informatie vanuit ‘remote sensing’ (waarneming van afstand) technieken de afgelopen jaren sterk verbeterd is en bovendien gemakkelijker beschikbaar is gekomen. Voorbeelden hiervan zijn neerslagradar en verdampingsbeelden afkomstig van satellietopnamen. Deze remote sensing data kunnen dienen als verbeterde invoer- en validatiebronnen voor ruimtelijk gedistribueerde hydrologische modellen. Daarnaast hebben meteorologen numerieke weersvoorspellingmodellen ontwikkeld, waarvan de uitkomsten, bijvoorbeeld neerslagvoorspellingen, door hydrologen gebruikt kunnen worden om voorspellingen (ofwel *forecasts*) te maken van het hydrologische systeem. Echter, in de praktijk worden deze, met remote sensing en weersvoorspellingen verkregen, operationeel beschikbare hydrometeorologische variabelen ons inziens nog te weinig gebruikt in hydrologische modellen. De mogelijke reden hiervoor is dat er nog onbeantwoorde onderzoeksvragen liggen over hoe deze hydrometeorologische gegevens te integreren in hydrologische modellen en of deze data de nauwkeurigheid van de hydrologische modellen wel verbetert. Nauwkeurigheid is hier gedefinieerd als “representatie van de werkelijkheid”, oftewel overeenkomst tussen

modeluitkomst en in-situ metingen met de daarbij horende meetonnauwkeurigheid, niet in de mathematische zin als “preciesheid” (aantal significante cijfers).

Onderzoeksvragen

Het doel van dit promotieonderzoek was om te onderzoeken of (1) operationeel beschikbare remote sensing data, die ruimtelijk verdeelde hydrologische modellen van informatie kunnen voorzien, de nauwkeurigheid van deze modellen verbeteren en (2) of neerslagvoorspellingen nauwkeurige voorspellingen van het hydrologische systeem kunnen opleveren. Binnen het hydrologische systeem lag de focus op bodemvocht. De operationeel beschikbare remote sensing data zijn begrensd tot meteorologische neerslagradar en actuele verdamping (ET_{act}) afkomstig van satellietopnamen.

Voor het promotieonderzoek hebben we de volgende onderzoeksvragen geformuleerd:

1. Wat is de toegevoegde waarde van regenradar ten opzichte van regenmeters?
2. Wat is het effect van ruimtelijke variabiliteit van dagelijkse neerslag op de hydrologie van een stroomgebied?
3. Kan de nauwkeurigheid van het ruimtelijk verdeelde bodemvocht binnen een stroomgebied worden verbeterd door gebruik te maken van verdampingsbeelden afkomstig van satellietopnamen?
4. Is het haalbaar om de ruimtelijke verdeling van bodemvocht binnen een stroomgebied te voorspellen door gebruik te maken van neerslagvoorspellingen?

Hydrologisch actuele en korte termijnvoorspellingsstelsel

Er bestond nog geen stelsel waarbij operationeel beschikbare hydrometeorologische variabelen, verkregen met remote sensing en voorspellingen, op een robuuste wijze worden geïntegreerd in een hydrologisch model. Daarom is het zogenaamde ‘Hydrological Now- and Forecasting System’ (HNFS) opgezet en zijn hier software instrumenten voor ontwikkeld. Drie belangrijke onderdelen kunnen binnen dit stelsel worden onderscheiden (Figuur 1):

- Verbeterde model input (bijvoorbeeld hoog resolute ruimtelijk verdeelde neerslagvelden);
- Assimilatie (het integreren van gemeten data in een procesmodel) van hydrologische variabelen, die op onregelmatige basis beschikbaar zijn om de nauwkeurigheid van het model te verbeteren (bijvoorbeeld actuele verdamping, afkomstig van satellieten);
- Implementatie van voorspelde invoervariabelen (bijvoorbeeld neerslagvoorspellingen) om voorspellingen van het hydrologische stelsel te verkrijgen. Voorspellen wordt hier gebruikt in de zin van ‘forecast’, niet in statistische zin.

Onderzoeksaanpak en Praktijk toepassingen

Door gebruik te maken van zowel operationeel beschikbare data als hydrologische modellen, hopen we de potenties en limitaties van een dergelijk stelsel in de praktijk inzichtelijk te maken. Als model hebben we gebruik gemaakt van het onverzadigde zonemodelcode metaSWAP (Schaap en Dik, 2007) wat gekoppeld was met de grondwatermodelcode MODFLOW (McDonald en Harbaugh, 1983). Met het HNFS is het mogelijk om zowel de huidige als de korte termijn voorspelde ruimtelijke verdeling van hydrologische karakteristieken in kaart te brengen. In figuur 2 is een voorbeeld hiervan

gegeven. Voor, in dit geval 17 juli 2006, zijn de volgende karakteristieken van een gebied in centraal Nederland (Langbroekerwetering: 70 km²) in beeld gebracht: (1) het actuele bodemvocht in de wortelzone, (2), de potentiële berging in de gehele onverzadigde zone, (3) de verdampingsreductie als gevolg van vochttekort in de wortelzone en (4) de beregeningsvraag van de wortelzone: de hoeveelheid water die nodig is om de verdampingsreductie op te heffen. Het HNFS is vervolgens gebruikt om tijdseries van het bodemvocht te voorspellen met daarbij de bijbehorende onzekerheid die veroorzaakt wordt door onzekerheid in de neerslagvoorspellingen. In deze studie hebben we gebruik gemaakt van neerslagvoorspellingen afkomstig van het numerieke weersvoorspellingmodel van het Europese Centrum voor Middellange-termijn Weersvoorspellingen (ECMWF) in Reading, Verenigd Koninkrijk. Deze data bestaan uit vijftig mogelijke neerslaghoeveelheden per zes uur (zie www.knmi.nl/waarschuwingen_en_verwachtingen/ensemble.html), door ons geaccumuleerd naar dagwaarden. Figuur 3 geeft voor één bepaald punt de tijdserie van het bodemvocht weer zoals dat is indien werkelijk gevallen neerslag en indien de neerslagvoorspellingen als invoer voor het model worden gebruikt. De gestippelde lijn geeft het bodemvochtverloop weer indien werkelijk gevallen neerslag wordt gebruikt. Indien de neerslagvoorspellingen worden gebruikt, leidt dit tot vijftig realisaties van bodemvocht. De doorgetrokken lijn in figuur 3 laat het gemiddelde van deze vijftig realisaties zien, de grijze band om de doorgetrokken lijn geeft de onzekerheid van de voorspelling weer (50% van de voorspellingen ligt binnen deze grijze band) welke, net als de neerslagvoorspellingen, toeneemt met de voorspellingstermijn. Figuur 3 laat dit zien indien er één, vijf of negen dagen vooruit voorspeld wordt.

Antwoorden op de onderzoeksvragen

In het volgende geven we de belangrijkste resultaten van het onderzoek die een antwoord geven op de onderzoeksvragen. Voor meer informatie per onderzoeksvraag wordt verwezen naar artikelen waar we dieper op de zaken ingaan.

Om hoogresolute neerslagvelden te generen, die vervolgens gebruikt kunnen worden als invoer voor hydrologische modellen, hebben we geostatistiek toegepast (Schuurmans e.a., 2007). Daarbij hebben we gebruik gemaakt van (1) alleen regenmeterdata (2) alleen radardata en (3) een combinatie van regenmeter en radar data. De (afstandsgecorrigeerde) radardata zijn afkomstig van het KNMI. Resultaten hebben laten zien dat de toegevoegde waarde van radar ten opzichte van (het huidige netwerk) regenmeters groot is. Het bleek dat met het operationeel beschikbare regenmeternetwerk van het KNMI (circa 330 stations binnen Nederland), de combinatie van regenmeter- en radardata het beste resultaat gaf, gevolgd door enkel de radar en uiteindelijk enkel de regenmeters. Slechts in het geval van een dicht netwerk van regenmeters, zoals een experimenteel netwerk zoals wij dat zelf hadden opgezet (dertig regenmeters in een gebied van 15 km bij 15 km), presteerden de regenmeters beter dan de radar.

De effecten van het gebruik van de ruimtelijke variabiliteit van neerslag binnen het modelgebied als invoer van een hydrologisch model is getest door een scenarioanalyse uit te voeren met verschillende neerslaginvoerscenario's (Schuurmans en Bierkens, 2007a, 2007b). Resultaten lieten zien dat de verbetering, door het meenemen van ruimtelijk verdeelde neerslag, afhangt van de doelstelling van de hydrologische modellering. Indien men is geïnteresseerd in de dag-tot-dag variabiliteit van de ruimtelijke verdeling

van bodemvocht of grondwaterstand, is het belangrijk om de ruimtelijke verdeling van neerslag mee te nemen. Echter, indien men is geïnteresseerd in het algemene gedrag van een stroomgebied, bijvoorbeeld grondwater en bodemvocht, is het voldoende om het juiste ruimtelijk gemiddelde van de neerslag binnen het stroomgebied te kennen. Dit geldt ook voor dagelijkse afvoer. Een belangrijke conclusie die volgt uit ons onderzoek is dat het gebruik van een enkele regenmeter groot risico met zich meebrengt, met name als deze buiten het gebied is gesitueerd. Het model waarbij neerslagvelden, geschat aan de hand van het experimentele dichte netwerk van regenmeters, als invoer werden gebruikt gaf nagenoeg overeenkomstige resultaten met het model waarbij alleen radarbeelden als invoer werden gebruikt. Dit suggereert dat (afstandsgecorrigeerde) radarbeelden, zoals die worden geleverd door het KNMI, meteen kunnen worden gebruikt binnen operationeel waterbeheer.

Om antwoord te krijgen op de vraag of de voorspelling van het (ruimtelijk verdeelde) bodemvocht binnen een stroomgebied kan worden verbeterd door gebruik te maken van verdampingsbeelden afkomstig van satellietopnamen hebben we gebruik gemaakt van ASTER en MODIS beelden van 8 juni en 17 juli 2006 (Schuurmans, Van Geer en Bierkens, 2008). De thermische satellietopnamen zijn omgevormd naar ruimtelijke verdampingsbeelden door gebruik te maken van de SEBAL-methodiek: Surface Energy Balance Algorithm for Land (Bastiaanssen en Roozemaars, 2003). De ruimtelijke verdeling van actuele verdamping (ET_{act}) afkomstig van deze satellietbeelden hebben we vergeleken met de, door het model (metaSWAP) berekende, ruimtelijke verdeling van ET_{act} . Vergelijking van zowel de grootte als de ruimtelijke verdeling van de op satelliet en model gebaseerde ET_{act} bleek zeer bruikbaar in het proces van modelvalidatie. Zo bleek uit deze vergelijking voor onze *case study* dat (1) bodemvochtgehalte van de wortelzone in lager gelegen gebieden wordt overschat; (2) de referentieverdamping, zoals die gebruikt wordt in ons model (Makkink), vervangen zou moeten worden door een referentieverdamping waarbij het aërodynamische deel van verdamping wordt meegenomen, bijvoorbeeld Penman-Monteith, welke ook internationaal wordt aanbevolen), en (3) het modelconcept van bosverdamping in gebieden met diepe grondwaterstanden, zo diep dat capillaire nalevering vanuit het grondwater niet meer mogelijk is, moet worden herzien. Dit laatste punt wordt veroorzaakt door het complexe verdampingsmechanisme van bomen: in tijden van extreme droogte ontwikkelen bomen in werkelijkheid een zogenaamde penwortel die water uit diepere bodemlagen kan onttrekken. Met het huidige modelconcept van een vaste worteldiepte in de tijd kan dit proces niet worden gesimuleerd en onderschat het model de bosverdamping in tijden van extreme droogte. De mogelijkheid om met satellietgebaseerde ET_{act} fouten met betrekking tot bodemvocht op te sporen is echter beperkt tot perioden waarin er verdampingsreductie optreedt. Alleen in tijden van verdampingsreductie is bodemvocht namelijk een beperkende factor. Assimilatie (het integreren van gemeten data in een procesmodel) van ET_{act} afgeleid uit satelliet opnamen in ons hydrologische model, resulteerde in een ruimtelijke aanpassing van gemodelleerd bodemvocht. Deze aanpassing beschouwen wij als realistisch, maar is moeilijk te verifiëren als gevolg van het gebrek aan ruimtelijk verdeelde validatiedata voor bodemvocht: we hadden slechts vijf locaties met tijdreeksen van bodemvocht voor verschillende diepten.

Ten slotte hebben we de haalbaarheid bestudeerd om tot negen dagen vooruit het ruimtelijk verdeelde bodemvocht te kunnen voorspellen (Schuurmans en Bierkens, 2008). Hierbij is gebruik gemaakt van het numerieke weersvoorspellingmodel van het ECMWF (zie alinea ‘Praktijk toepassingen’). Deze data zijn enigszins bewerkt en geleverd door het KNMI. Omdat neerslag een van de belangrijkste invoervariabelen is, zal de nauwkeurigheid van het voorspelde bodemvocht sterk afhangen van de nauwkeurigheid van de neerslagvoorspellingen. Uit de vergelijking van voorspelde dagelijkse neerslag met gemeten neerslag, door combinatie van vijftien regenmeters met radar, bleek dat de totale neerslag tijdens onze studiekeerperiode (maart tot en met november 2006) goed werd voorspeld voor alle voorspeltermijnen van één tot negen dagen vooruit. De voorspelde ruimtelijke verdeling van bodemvocht is vergeleken met een “werkelijke situatie”. Deze werkelijke situatie volgt uit hetzelfde hydrologische model waarbij de gemeten neerslag, uit een combinatie regenmeters en radar, als invoer is gebruikt. De tijdsgemiddelde afwijking tussen voorspeld en werkelijk bodemvocht nam geleidelijk toe met toenemende voorspeltermijn. De ruimtelijke verdeling van deze afwijking liet een patroon zien dat overeenkomt met het ruimtelijk patroon van de totale neerslag in het gebied. Gebieden waar minder neerslag viel dan ruimtelijk gemiddeld lieten in de voorspelling een onderschatting zien van het bodemvocht en vice versa. Het gebruik van hetzij de individuele neerslagvoorspellingen als modelinvoer (vijftig *modelberekeningen* per dag), hetzij het gemiddelde van deze vijftig neerslagvoorspellingen als modelinvoer (1 *modelberekening* per dag) vertoonde weinig verschil in het ruimtelijk patroon van de bodemvocht afwijking. Echter, door gebruik te maken van de individuele neerslagvoorspellingen is het mogelijk om inzicht te krijgen in de betrouwbaarheid van het voorspelde bodemvocht, zoals getoond in figuur 3.

Overwegingen

Als we zowel de hydrologische cyclus als de temporele en ruimtelijke schalen van hydrologische processen beschouwen, is het duidelijk dat ‘de werkelijkheid’ van het hydrologische systeem complex is. De waarde van het HNFS in de praktijk valt of staat echter met de nauwkeurigheid waarmee het hydrologische model deze werkelijkheid kan beschrijven. De belangrijkste vraag die we voor de praktische toepassing van het HNFS zouden moeten stellen is: ‘voor welk doel willen we het HNFS ontwikkelen?’. Hierbij zijn er vier aspecten die zich gelijk met elkaar moeten ontwikkelen:

- modelcomplexiteit;
- beschikbaarheid van invoerdata;
- beschikbaarheid van calibratie- en validatiedata;
- gebruiksvriendelijkheid en toegankelijkheid van modelcode.

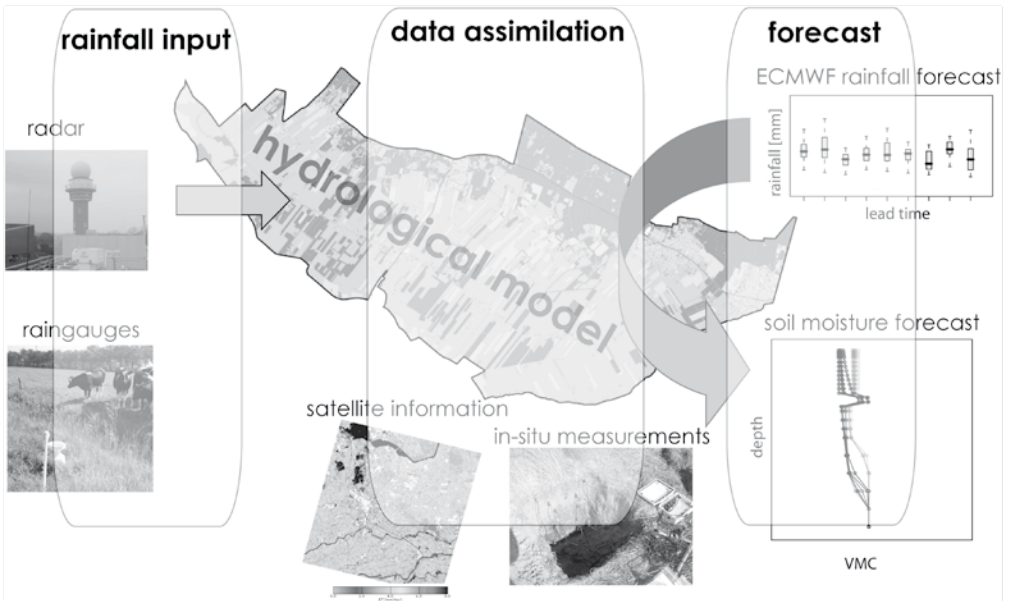
Om werkelijk vooruitgang te boeken zal steeds de ‘zwakste schakel’ van deze vier aspecten moeten worden verbeterd. Gezien de recente ontwikkelingen met betrekking tot de modelcomplexiteit (hiermee wordt zowel hogere modelresolutie alsmede verbeterde modelconcepten bedoeld) is de zwakke schakel bij veel modellen de beschikbaarheid van hydrologische data voor invoer, calibratie en validatie. Bij gebrek aan (ruimtelijk verdeelde) invoer- en calibratiedata lopen we het gevaar ‘aan de verkeerde knoppen van het model te draaien’. Bovendien is de kans groot dat bij gebrek aan invoerdata de variabiliteit wordt ‘gladgestreken’. Als er vervolgens ook onvoldoende validatiedata

beschikbaar zijn, kunnen we de nauwkeurigheid van de hydrologische modellen nooit testen. Een voorbeeld is de ruimtelijke verdeling van bodemvocht, een hydrologische variabele die zelden wordt gemeten, laat staan vlakdekkend. Een bekende valkuil is dat hydrologische modellen altijd een uitkomst genereren. Het is de gebruiker van het HNFS die moet aangeven welke nauwkeurigheid gewenst is en het is vervolgens de taak van en de uitdaging voor de hydroloog om te haalbaarheid van deze gewenste nauwkeurig aan te geven en om te beslissen of en welke modelparameters aangepast moeten worden. Bij toenemende modelcomplexiteit wordt dit een steeds moeilijker en minder overzichtelijke bezigheid. De mate waarin de modelcode overzichtelijk werken mogelijk maakt, wordt hier bedoeld met gebruiksvriendelijkheid van de modelcode. Daarbij is toegankelijkheid van modelcode en een accurate documentatie essentieel om het model te verbeteren door gebruik te maken van gebruikerservaringen.

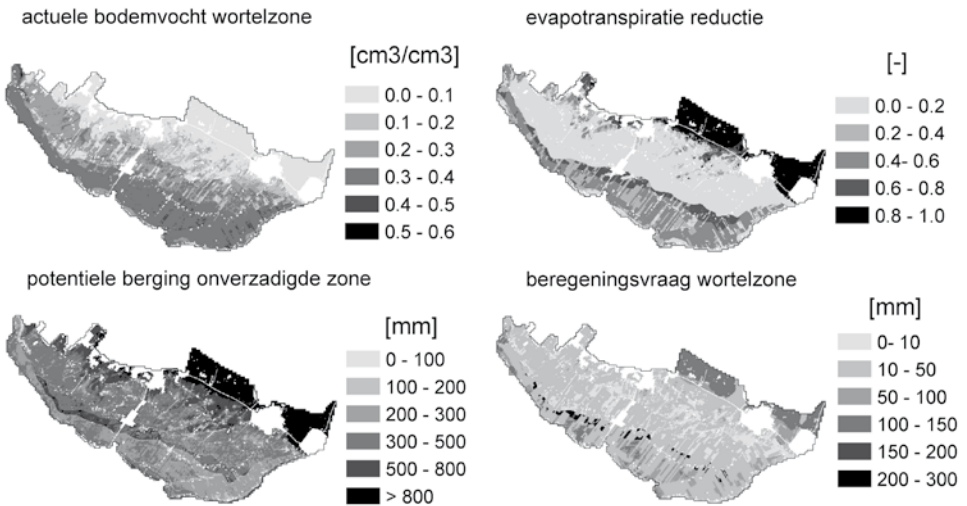
Het promotie onderzoek heeft, uitgaande van een technisch-wetenschappelijke vraagstelling, de grote potentie aangetoond van het gebruik van regenradar, remote sensing beelden van verdamping en neerslagvoorspellingen in hydrologisch modelleren. Uiteraard kan er naar aanleiding van de resultaten verder worden gediscussieerd over toepassingsmogelijkheden en de verbetering van componenten van het HNFS. Wij hopen dat deze studie een stimulans is voor het intensievere gebruik van regenradar, remote sensing en meteorologische voorspellingen in combinatie met (geo)hydrologische modellen en 'gangbare' datasoorten.

Referenties

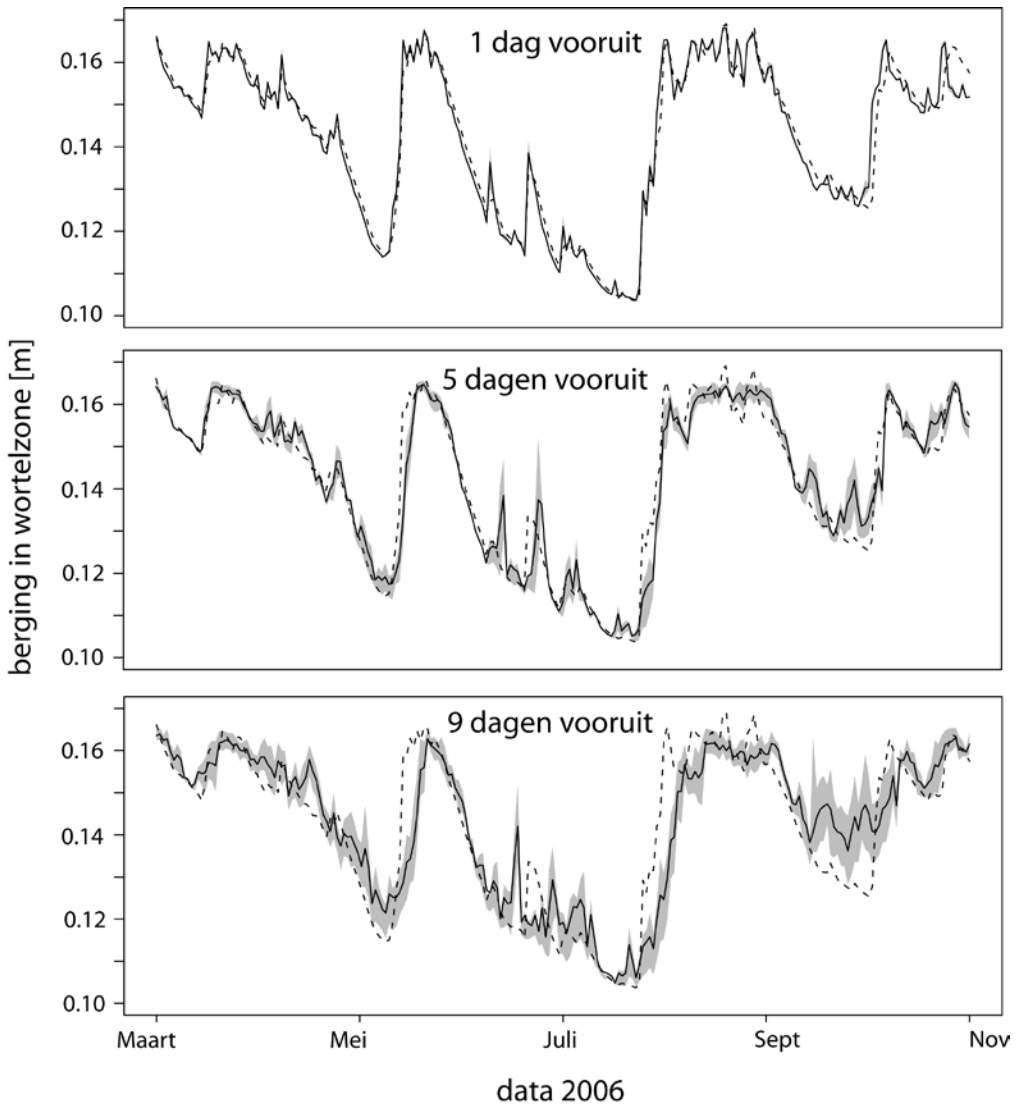
- Bastiaanssen, W.G.M. en H. Roozkrans (2003)** *Vlakdekkende actuele verdamping van Nederland operationeel beschikbaar*; in: *Stromingen nummer 4, jaargang 9*. McDonald, M.G. en A.W. Harbaugh (1983) *A modular three-dimensional finite-difference groundwater flow model, Open-File Report, 83-875*. U.S. Geological Survey, 528 pp.
- Schaap, J. en P. Dik (2007)** *MetaSWAP meet zich met SWAP, Simulatie van de onverzadigde zone voor regionale en nationale modellen*; in: *Stromingen 13*, pag 15-26.
- Schuermans, J.M., M.F.P. Bierkens, E.J. Pebesma en R. Uijlenhoet (2007)** *Automatic prediction of high-resolution daily rainfall fields for multiple extents: the potential of operational radar*; in: *Journal of Hydrometeorology vol 8*, pag 1204-1224.
- Schuermans, J.M. en M.F.P. Bierkens (2007a)**, *Effect of spatial distribution of daily rainfall on interior catchment response of a distributed hydrological model*; in: *Hydrology and Earth System Sciences, vol 11*, pag 677-693.
- Schuermans, J.M. en M.F.P. Bierkens (2007b)**, *Belang van betere neerslaginformatie voor hydrologen*, in: *H2O, vol 40(12)*, pag 27-29.
- Schuermans, J.M. en M.F.P. Bierkens (2008)** *Ability to forecast regional soil moisture in a distributed hydrological model using ECMWF rainfall forecasts*; Geaccepteerd in: *Journal of Hydrometeorology*.
- Schuermans, J.M., F.C. van Geer en M.F.P. Bierkens (2008)** *Remotely sensed latent heat fluxes for improving modelled soil moisture predictions: a case study*; Ingediend bij: *Remote Sensing of Environment*.
- Volkskrant (2008)** *Veel overlast na zware regenbuien*; in: *voorpagina de Volkskrant 28 juli 2008*.



Figuur 1: Hydrologisch actueel en korte termijn voorspellingsysteem, oftewel Hydrological Now- and Forecasting System (HNFS)



Figuur 2: Voorbeeld van praktische toepassingen HNFS voor 17 juli 2006: actueel bodemvocht in de wortelzone, evapotranspiratiereductie, potentiële berging in de onverzadigde zone en beregeningsvraag van de wortelzone (hoeveelheid water nodig om toe te voegen aan wortelzone om verdampingsreductie op te heffen).



Figuur 3: Tijdserie van bodemvocht (berging in wortelzone (m)) voor maart tot en met november 2006. De gestippelde lijn is de modeluitkomst indien werkelijk gevallen neerslag als input voor het model wordt gebruikt. De doorgetrokken lijn is de modeluitkomst indien voorspelde neerslag als input voor het model wordt gebruikt. De grijze band geeft de onzekerheid van de modeluitkomsten (50% marge) weer indien neerslagvoorspelling wordt gebruikt.

