

# Gecombineerd gebruik van hydrologische modellen en afstandswaarnemingen voor waterbeheersdoeleinden

*Bij het integraal waterbeheer vormen hydrologische modellen een onmisbaar instrument. Deze modellen gebruiken een aantal verschillende inputdatabestanden, meer bepaald meteorologische, topografische, bodem-, en vegetatiegegevens. Vermits al deze verschillende gegevens een zekere graad van onzekerheid bevatten en ook omdat modellen nooit een perfecte weergave van de werkelijkheid zijn, is het normaal dat de resultaten van deze modellen nooit foutloos zullen zijn. Een van de technieken om de fouten in hydrologische (en andere) modellen te reduceren is data-assimilatie. In dit artikel wordt dieper ingegaan op deze techniek. Verder wordt een voorbeeld gegeven van een toepassing van data-assimilatie, samen met een overzicht van de mogelijke toepassingen voor het integraal waterbeheer in Vlaanderen.*

## Inleiding

De studie van het verband tussen neerslag en afvoer vormt het onderzoeksdomein van de hydrologie. Samengevat komt dit neer op het bieden van een antwoord op de vraag "What happens to the rain [Penman, 1961]". Om deze doelstelling te bereiken werden hydrologische modellen ontwikkeld. Deze modellen integreren de fysische beschrijving van een aantal processen, zoals bijvoorbeeld de infiltratie of de verdamping, waarbij telkens een aantal verschillende parameters nodig zijn. Bijvoorbeeld hangt de infiltratie onder andere af van het bodemtype, is de verdamping afhankelijk van het gewastype, het ontwikkelingsstadium van het gewas, enzovoort. Om deze modellen toe te passen zijn dus topografische, gewas-, bodem- en meteorologische gegevens nodig. Vermits deze gegevens nooit foutloos zijn (stroomgebiedsgemiddelde neerslag is bijvoorbeeld erg moeilijk of zelfs onmogelijk te begroten) en ook omdat een model altijd slechts een benadering is van de werkelijkheid, zullen de resultaten van deze modellen nooit perfect zijn.

Om deze fouten in hydrologische modellen te verkleinen werden een aantal methodes ontwikkeld. Deze kunnen onderverdeeld worden in modelkalibratie en data-assimilatie. Bij modelkalibratie wordt het model toegepast gedurende een bepaalde periode, bijvoorbeeld een jaar, en worden de modelresultaten vergeleken met een aantal metingen ervan. Een veel voorkomende toepassing van modelkalibratie is het gebruik van gemeten afvoer. De modelresultaten worden vergeleken met de metingen en indien er onvoldoende overeenkomst is met de metingen, worden een aantal parameterwaarden aangepast, wordt het model opnieuw toegepast en worden de nieuwe resultaten opnieuw vergeleken met de metingen. Dit proces wordt herhaald tot de overeenkomst tussen de resultaten en de metingen voldoende is. Een groot aantal methodes werd hiervoor ontwikkeld, variërend van volledig manuele tot volledig automatische parameteraanpassing.

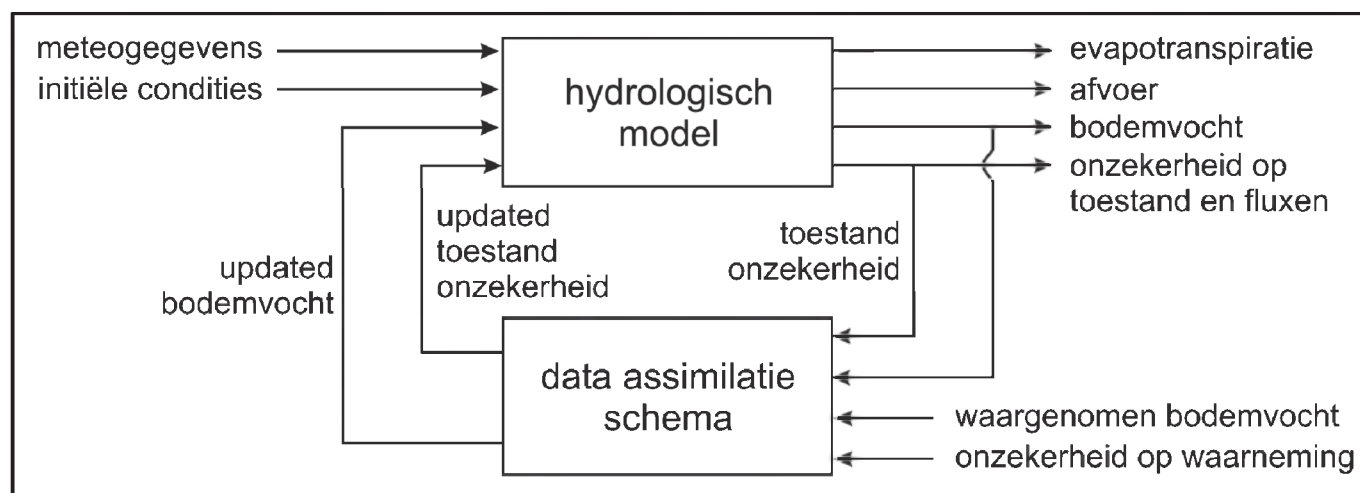
Bij data-assimilatie worden de modelresultaten aangepast gedurende de modeltoepassing. Een veel voorkomende toepassing van data-assimilatie is het aanpassen van de gemodelleerde bodemvochtwaarden. Als op een bepaald moment een meting van het bodemvocht beschikbaar is, kan een gewogen gemiddelde gemaakt worden tussen het modelresultaat enerzijds en de meting anderzijds waarbij het modelresultaat gelijk gesteld wordt aan dit gewogen gemiddelde. De gewichten worden dan bepaald op basis van de onzekerheid in zowel de modelresultaten als de metingen.

Het doel van dit artikel is het beschrijven van hoe data-assimilatie kan toegepast worden voor het integraal waterbeheer in Vlaanderen. Vooreerst wordt dieper ingegaan in de operationele toepassing van data-assimilatie. Verder wordt dan een voorbeeld van data-assimilatie voor waterbeheersdoeleinden gegeven. Tenslotte worden een aantal voorstellen gesuggereerd tot het gebruik van data-assimilatie voor het integraal waterbeheer in Vlaanderen.

## Data-assimilatie

Een algemeen aanvaarde definitie van data-assimilatie is het aanpassen van modelresultaten gebruik makende van externe gegevens. Een voorbeeld hiervan is het aanpassen van de bodemvochtwaarden van de bovenste bodemlaag gebruik makend van metingen hiervan. Deze aanpassing gebeurt door het gewogen gemiddelde te nemen van de modelresultaten en de externe data, waarbij de gewichten afhankelijk zijn van de graad van onzekerheid in zowel de modelresultaten en de externe gegevens. Indien bijvoorbeeld de onzekerheid in de modelresultaten groot is, en de onzekerheid in de externe data klein, zal bij de aanpassing een groot gewicht gegeven worden aan de externe gegevens. Figuur 1 geeft een schematisch overzicht van de toepassing van data-assimilatie.

Figuur 1. Schematisch overzicht van de toepassing van data-assimilatie.

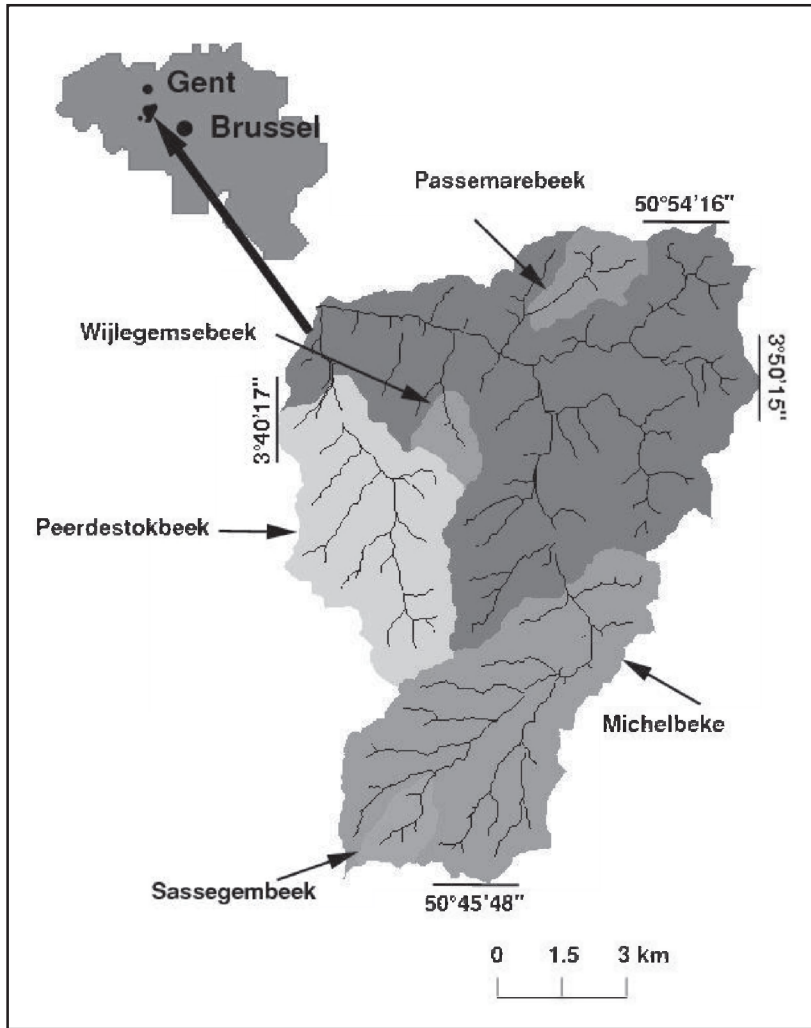


Om het gewogen gemiddelde te maken zijn er een aantal verschillende methodes beschikbaar. Houser et al. [1998] geeft een overzicht van een aantal van deze methodes. Deze variëren van eenvoudige statistische correctie tot "Newtoniaanse nudging". Bij statistische correctie wordt het gemodelleerde bodemvochtgehalte over gans het domein aangepast zodanig dat de statistieken (gemiddelde en variantie) ervan gelijk worden aan de statistieken van de externe waarnemingen. Er wordt dus geen rekening gehouden met de ruimtelijke patronen in de externe data. Bij "Newtoniaanse nudging" wordt hier wel rekening mee gehouden. Een methode die het laatste decennium veel aandacht gekregen heeft is het gebruik van de Kalman Filter, welke beschreven wordt in o.a. Hoeben en Troch [2000]. De Kalman Filter heeft een aantal voordelen. Ten eerste wordt de modelfout realistisch berekend, waardoor deze niet meer door de gebruiker gespecificeerd moet worden. Ten tweede kunnen toestandsvariabelen aangepast worden als er geen metingen van beschikbaar zijn. In Hoeben en Troch [2000] wordt het voorbeeld gegeven van een aanpassing van gans het gemodelleerd bodemvochtprofiel gebruik makend van metingen van enkel en alleen maar het bodemvochtgehalte van de bovenste paar centimeter van de bodem. Ten derde is het assimilatieschema erg flexibel. Dit betekent dat de aangepaste en de geobserveerde variabele niet noodzakelijk dezelfde hoeven te zijn. Er moet enkel een gekend verband bestaan tussen beide variabelen. Hoeben en Troch [2000] geven het voorbeeld van het rechtstreeks assimileren van radarterugkaatsingscoëfficiënten, welke afhankelijk zijn van het bodemvochtgehalte, in een hydrologisch model. De keuze van het assimilatie-algoritme is afhankelijk van een aantal factoren, waaronder in de eerste plaats de beschikbare rekenkracht. Verder zijn ook de vereiste nauwkeurigheid van de resultaten en de mogelijkheid tot softwareontwikkeling van de gebruiker van belang.

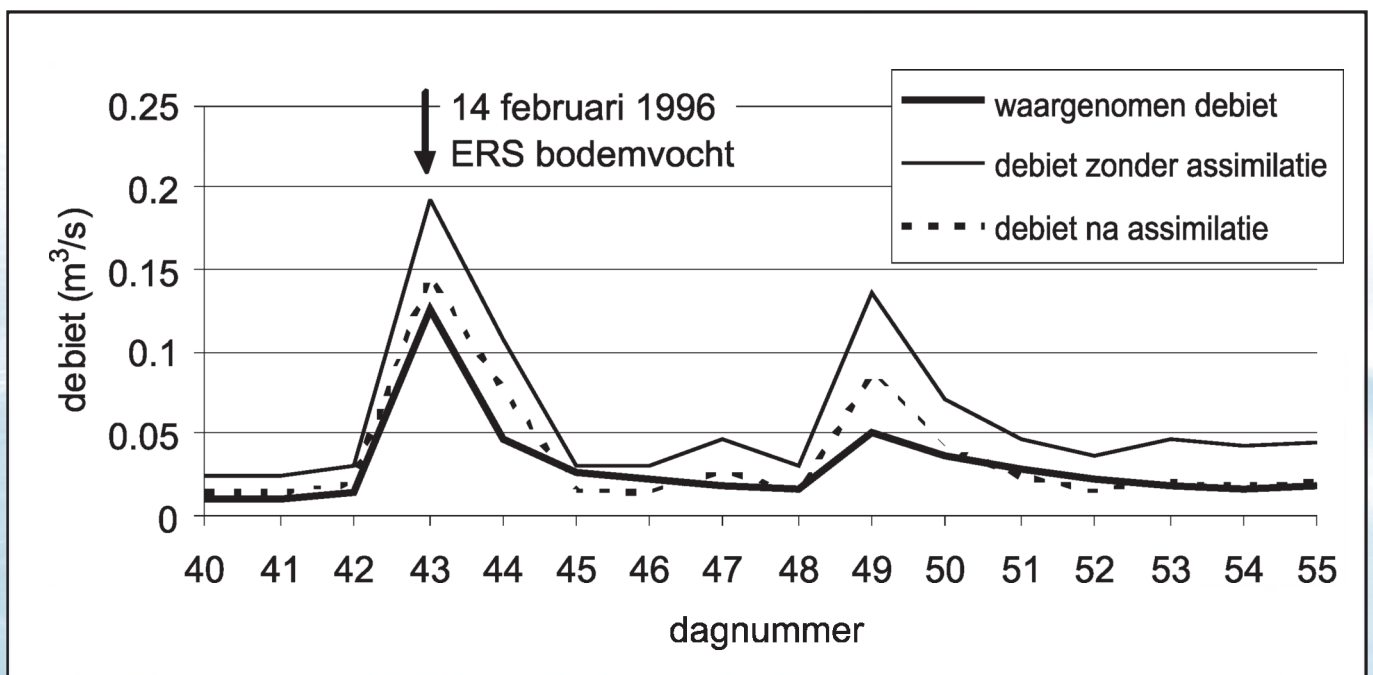
### Voorbeeld

Om het potentieel gebruik van data-assimilatie voor waterbeheersdoeleinden te illustreren worden afstandwaargenomen bodemvochtwaarden in een statistisch hydrologisch model geassimileerd en wordt de invloed van deze assimilatie op de gemodelleerde afvoerpieken gekwantificeerd. De bodemvochtwaarden werden berekend gebruik makend van terugkaatsingscoëfficiënten van de European Remote Sensing (ERS) 1 en 2 satellieten. Deze zenden een elektromagnetisch signaal uit met een golflengte van 5.4 cm, waarna de sterkte van het teruggekaatste signaal gemeten wordt. Deze sterkte hangt o.a. af van het oppervlakkig bodemvochtgehalte. Deze omzetting van de terugkaatsingscoëfficiënt naar het oppervlakkig bodemvochtgehalte wordt gedetailleerd beschreven in Pauwels et al. [2002]. Als hydrologisch model werd het TOPMODEL-gebaseerd Land-Atmosphere Transfer Scheme [TOPLATS, Pauwels en Wood, 1999] gebruikt. Dit model heeft als voordeel dat het zowel ruimtelijk verdeeld als statistisch toegepast kan worden. In dit voorbeeld werd het model op de statistische manier toegepast. Als assimilatiealgoritme werd statistische correctie gekozen. Het model werd toegepast op het stroomgebied van de Zwalmbeek, waarvan Figuur 2 een overzicht geeft, op de periode van 1994 tot en met 1998. Figuur 3 geeft een voorbeeld van de invloed van de assimilatie van het oppervlakkig bodemvochtgehalte op de gemodelleerde afvoerpieken. Pauwels et al. [2002] beschrijven de resultaten in meer detail. Het algemeen besluit van deze studie was dat het mogelijk is om afvoerspellingen te optimaliseren door middel van de assimilatie van afstandswaargenomen oppervlakkige bodemvochtwaarden.

Figuur 2. Het stroomgebied van de Zwalmbeek en de verschillende deelstroomgebieden.



Figuur 3. Invloed van de assimilatie van afstandswaargenomen bodemvocht op gemodelleerde afvoerpieken.



## Mogelijke toepassingen in Vlaanderen

Het potentieel gebruik van data-assimilatie in Vlaanderen is zeker niet beperkt tot het optimaliseren van afvoervoorspelling gebruik makend van afstandswaargenomen bodemvocht. Een eerste mogelijke toepassing is het geïntegreerd gebruik van radarteledetectie en gecombineerd hydrologisch/hydraulisch modelleren. De mogelijkheid tot het gebruik van afstandswaarnemingen om overstromde gebieden in kaart te brengen werd reeds aangetoond. De lokatie van deze gebieden kan ook gemodelleerd worden door hydraulische modellen. Omwille van dezelfde redenen die gelden voor hydrologische modellen zijn de resultaten van deze modellen ook nooit perfect. Data-assimilatieschemas kunnen dus ontwikkeld worden voor gekoppelde hydrologische en hydraulische modellen, niet alleen om afvoerpieken en overstromingslokaties zo goed mogelijk te voorspellen, maar ook om schadebeperkingsmaatregelen uit te voeren, enz.

Een tweede mogelijke toepassing is het ontwerpen van data-assimilatieschemas voor de operationele bekkenmodellen. Deze maken gebruik van een zeer eenvoudig conceptueel hydrologisch model, meer bepaald het Probability Distributed Model (PDM). Het oppervlakkig bodemvochtgehalte is hier geen toestandsvariabele, waardoor het weinig zin heeft om afstandswaargenomen bodemvochtgehalten in dit model te assimileren. Echter kunnen assimilatieschemas ontwikkeld worden om afvoertijdreeksen uit het verleden te gebruiken om de gemodelleerde toestandsvariabelen aan te passen, waardoor afvoervoorspellingen geoptimaliseerd kunnen worden. De mogelijkheid tot het assimileren van afvoertijdreeksen in conceptuele hydrologische modellen werd reeds in de jaren 70 gedemonstreerd [Wood, 1978], maar deze schemas kunnen verder gemoderniseerd en ver-

beterd worden door de grotere beschikbare rekenkracht.

### Besluiten

Het potentieel gebruik van data-assimilatie voor waterbeheersdoeleinden werd aan de hand van een praktisch voorbeeld aangetoond. Door het beschikbaar worden van steeds meer rekenkracht is data-assimilatie een van de mogelijke technieken die kan aangewend worden bij het operationeel waterbeheer in Vlaanderen. Twee mogelijke toepassingen werden gegeven, die slechts een fractie zijn van de mogelijke toepassing van deze techniek voor het integraal waterbeleid in Vlaanderen.

### Referenties

- Hoeben, R. en P.A. Troch, Assimilation of active microwave observation data for soil moisture profile estimation, *Water Resources Research*, 36(10), 2805-2819, 2000.
- Houser, P.R., W.J. Shuttleworth, J.S. Famiglietti, H.V. Gupta, K.H. Syed en D.C. Goodrich, Integration of soil moisture remote sensing and hydrological modeling using data assimilation, *Water Resources Research*, 34(12), 3405-3420, 1998.
- Pauwels, V.R.N. en E.F. Wood, A soil-vegetation-atmosphere transfer scheme for the modeling of water and energy balance processes in high latitudes, 1, Model improvements, *Journal of Geophysical Research*, 104(D22), 27811-27882, 1999.

- Pauwels, V.R.N., R. Hoeben, N.E.C. Verhoest, F.P. De Troch en P.A. Troch, Improvement of TOPLATS-based discharge predictions through assimilation of ERS-based remotely sensed soil moisture values, *Hydrological Processes*, 16(5), 995-1013, 2002.
- Penman, H.L., Weather, plant and soil factors in hydrology, *Weather*, 16, 207-219, 1961.
- Wood, E.F., An application of Kalman filtering to river flow forecasting, in: C.-L. Chiu (editor), *Applications of Kalman filter to hydrology, hydraulics, and water resources*, Proceedings of AGU Chapman conference held at the University of Pittsburg, May 22-24, 1978, Stochastics Hydraulics Program, Department of Civil Engineering, University of Pittsburg, Pittsburg, PA 15261, 385-407, 1978.

*Valentijn R.N. Pauwels,  
Gabriëlle J.M. De Lannoy en  
Niko E.C. Verhoest*

*Corresponderende auteur:*

*Valentijn Pauwels*

*Professor*

*Laboratorium voor Hydrologie en Waterbeheer  
Universiteit Gent*

*Coupure links 653*

*9000 Gent*

*e-mail : Valentijn.Pauwels@UGent.be*

*Tel. + 32 - 9 - 264 61 35*

*Fax + 32 - 9 - 264 62 36*