

---

# Aquapodium promovendis

---

## Aspecten van bodemvochtdynamiek en implicaties voor procesparameterisatie

### *Introductie*

Gedurende het afgelopen decennium is het hydrologisch onderzoek naar bodemvocht in een stroomversnelling terechtgekomen. Nieuwe meettechnieken en het goedkoper beschikbaar komen van bestaande technieken hebben er voor gezorgd dat er diverse grootschalige bodemvocht-meetcampagnes zijn geweest (SGP97, Tarrawarra, SMEX). Deze campagnes hebben een belangrijke bijdrage geleverd aan het inzicht in de ruimtelijke en temporele verdeling van bodemvocht.

De interesse van (landoppervlakte) hydrologen voor bodemvocht heeft twee belangrijke oorzaken. Ten eerste is de hoeveelheid bodemvocht in belangrijke mate bepalend voor de hydrologische respons van een (stroom)gebied; zo bepaalt de hoeveelheid bodemvocht de verdeling van neerslag over infiltratie en oppervlakkige afstroming. De bodemvochttoestand kan zodoende een belangrijke variabele zijn bij het voorspellen van afvoer. Ten tweede heeft bodemvocht een lang 'geheugen' (persistentie). Deze persistentie beïnvloedt de temporele evolutie van de energiebalans op het aardoppervlak via verdamping en maakt bodemvocht daarmee een belangrijke randvoorwaarde in atmosferische modellen.

Het bepalen van de juiste beginvoorwaarde (initialisatie) van bodemvocht in atmosferische modellen is echter een probleem. Slechts op enkele locaties zijn routinematige veldwaarnemingen beschikbaar. Dergelijke waarnemingen zijn bovendien berucht vanwege hun grote ruimtelijke variatie. Nauwkeurige remote-sensingtech-

nieken met wereldwijde dekking zijn nog niet operationeel, hoewel er momenteel zowel door de ESA (SMOS, zie [www.esa.int/esaLP/smos.html](http://www.esa.int/esaLP/smos.html)) als de NASA (HYDROS, zie [hydros.gsfc.nasa.gov/](http://hydros.gsfc.nasa.gov/)) missies voorbereid worden. Als alternatief wordt nu data-assimilatie gebruikt zodat aan de hand van routinematige meteorologische waarnemingen en een landoppervlaktemodel bodemvocht geschat kan worden. Het recente ELDAS-project (zie [www.knmi.nl/samenw/eldas](http://www.knmi.nl/samenw/eldas)) is een voorbeeld van deze aanpak.

Diverse onderzoeken hebben aangetoond dat weersvoorspellingen in de zomer boven land verbeterd kunnen worden door rekening te houden met afwijkingen t.o.v. het seizoensgemiddelde van het bodemvochtgehalte (Koster e.a., 2004a). Een nodige voorwaarde hiervoor lijkt wel dat modelparameterisaties zo correct mogelijk weer geven wat er in werkelijkheid binnen een modelgrid gebeurt. Naast een juiste initialisatie is daarom ook een juiste parameterisatie essentieel voor een correct functionerend model. De grote ruimtelijke heterogeniteit van parameters en variabelen binnen de schaal van een modelgrid, in combinatie met niet-lineariteit van vele processen, maken dit tot een moeilijk probleem. In mijn onderzoek, dat wordt uitgevoerd onder begeleiding van Peter Troch (WU) en Eddy Moors (Alterra), heb ik me tot dusver bezig gehouden met enkele ruimtelijke en temporele aspecten hiervan.

### *Ruimtelijke variatie*

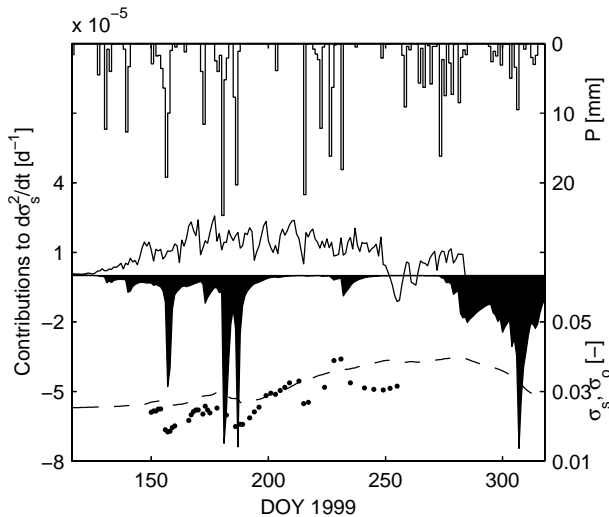
Er zijn inmiddels heel wat veldstudies gedaan waarbij (onder meer) gekeken is naar de relatie tussen de ruimtelijke variatie van bodemvocht en de gemiddelde vochttoestand. Deze relatie vertoont vaak een sterke seizoensgang. Sommige onderzoekers hebben hierbij duidelijke positieve relaties gerapporteerd (Western en Grayson, 1998;

Famiglietti e.a., 1998), terwijl in andere studies de relatie tussen gemiddeld bodemvocht en de ruimtelijke variatie juist negatief was (Famiglietti e.a., 1999; Hupet en Vanclooster, 2002). Ook zijn er studies geweest waar de trend een functie bleek van het gemiddelde vochtgehalte (Owe e.a., 1982; Albertson en Montaldo, 2003), of waar geen duidelijke trend aanwezig was (Hawley e.a., 1983; Charpentier en Groffman, 1992). Een interessante vraag hierbij is: wat zijn de processen die aan deze verschillende trends ten grondslag liggen, en wat leert de ruimtelijke interactie tussen deze processen ons over het opschalen van de resultaten van onverzadigde zone modellen (die veelal geldig zijn op punt-schaal)? Voor deze studie werden drie datasets verzameld: een met een positieve trend (Hupet en Vanclooster, 2002), een met een negatieve (Western en Grayson, 1998), en een met een meervoudige trend (Albertson en Montaldo, 2003).

Onder de aanname dat de waterbalans wordt gedomineerd door verticale fluxen (drainage, verdamping) werd de ruimtelijke

variatie gesimuleerd met behulp van een eenvoudig bodemvochtmodel. Er werden verschillende versies (een ensemble) van dit model gegenereerd met geobserveerde input, waarbij parameters werden gevarieerd tussen de ensemble-leden. De verdeling van de parameters werd hierbij zo goed mogelijk geschat op basis van beschikbare metingen van verzadigde hydraulische geleidbaarheid, leaf area index, etc. De ruimtelijke variatie werd vervolgens berekend als de spreiding binnen de ensemble-leden. Details zijn te vinden in Teuling en Troch (2005).

Geïnspireerd door het werk van Albertson en Montaldo (2003) kan voor de temporele evolutie van de ruimtelijke variatie de volgende vergelijking afgeleid worden (Teuling en Troch, 2005), waarbij voor de invloed van topografie een empirisch model benut wordt dat de ruimtelijke variatie van bodemvocht relateert aan de (ruimtelijk) gemiddelde vochttoestand  $\bar{\theta}$  ( $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ ) door middel van een 'natheidsindex' (Svetlitchnyi e.a., 2003):



**Figuur 1:** Temporele dynamiek van de ruimtelijke variatie in bodemvocht voor een plaats vlakbij Louvain-la-Neuve (België) in respons op neerslag (P) gedurende de zomer van 1999. De bijdragen van vegetatie (wit) en bodem (zwart) zijn berekend met vergelijking (1). De stippellijn is de gesimuleerde ruimtelijke variatie ( $\sigma_s$ ), de punten zijn de observaties ( $\sigma_o$ ).

$$\frac{d\sigma_s}{dt} = \underbrace{\frac{2}{L}(\overline{\theta' T''} - \overline{\theta' S''})}_{\text{Vegetatie}} - \underbrace{\frac{2}{L}(\overline{\theta' R'} + \overline{\theta' q'})}_{\text{Bodem}} + \underbrace{\sigma_\eta^2 \frac{d\overline{\theta}}{dt}}_{\text{Landschap}}$$

waarin  $\sigma_s$  de (ruimtelijke) standaardafwijking is van  $\theta$ ,  $L$  de diepte van de wortelzone (m),  $T$  de doorval (ook wel netto-neerslag: de neerslag die de grond bereikt, in  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ),  $S$  de wortelopname (sink, in  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ),  $R$  de (verzadigde) oppervlakte-afvoer ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ),  $q$  de gravitaire drainage ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ), en  $\sigma_\eta$  de standaardafwijking van de 'nathedsindex' (dimensieloos). Met deze vergelijking kan geanalyseerd worden welke processen voor de verschillende trends verantwoordelijk zijn. Figuur 1 geeft een voorbeeld van zo'n analyse voor de data van Hupet en Vanclooster (2002). De stippe lijn is de gesimuleerde ruimtelijke variatie ( $\sigma_s$ ), de punten zijn de observaties. Opvallend is dat de simulaties goed de geobserveerde trend volgen, ondanks het relatief simpele model dat werd gebruikt. Het verschil in amplitude kan verklaard worden door het verschil in diepte: voor de metingen 0–30 cm, tegenover de simulaties 0–50 cm.

Opvallend is dat tot dag 200 de bijdragen van de (ruimtelijk variabele) vegetatie en drainage elkaar in balans houden. Pas na dag 200 is de bodem zodanig uitgedroogd (niet zichtbaar in de figuur) dat drainage verwaarloosbaar klein wordt en de positieve bijdrage van de vegetatie dominant wordt. De toename in ruimtelijke variatie van bodemvocht wordt pas weer ongedaan gemaakt op het moment dat de bodem in de herfst (na dag 280) voldoende nat is voor significante drainage.

### *Temporele variatie*

Een belangrijk aspect van de hydrologische kringloop is een potentiële terugkoppeling tussen bodemvocht en neerslag. In een relatief droog jaar zal er minder water

verdampen, waardoor er potentieel minder neerslag valt, waardoor de bodem nog verder uitdroogt etc. Resultaten van modelstudies suggereren dat deze terugkoppeling inderdaad bestaat, en dat er op de wereld enkele 'hot-spots' zijn waar deze terugkoppeling het sterkst is (Koster e.a., 2004b). Het bestaan van een significante terugkoppeling is tot op heden echter nooit overtuigend aangetoond op basis van observaties. Analyses van neerslag- en bodemvochtgegevens uit Illinois (USA), een van de weinig plekken ter wereld waar deze data beschikbaar zijn met voldoende ruimtelijke en temporele dekking, hebben geleid tot zeer uiteenlopende claims over de sterkte van deze terugkoppeling (Findell en Eltahir, 1997; Salvucci e.a.; 2002, D'Odorico en Porporato, 2004; Teuling e.a., 2005). Zo werd in een recent onderzoek gesteld dat de bimodaliteit in de geobserveerde bodemvochtverdeling over de zomermaanden in Illinois bewijs is voor het bestaan van een sterke terugkoppeling (D'Odorico en Porporato, 2004). Afhankelijk van het jaar zou bodemvocht zich in een natte dan wel een droge preferente staat bevinden als gevolg van de (schijnbare) relatie tussen bodemvocht en neerslag.

De bodemvochtgegevens uit Illinois heb ik met het eerder ontwikkelde waterbalansmodel bestudeerd, om te kijken of de claims van D'Odorico en Porporato (2004) gerechtvaardigd zijn. Allereerst is de volledige bodemvochtverdeling berekend over dezelfde periode als de observaties met het model van D'Odorico en Porporato (2004). Maar daar waar zij de aanname van stationariteit nodig hadden om tot een analytische oplossing te komen van de bodemvochtverdeling, heb ik opnieuw voor een ensemble-aanpak gekozen zodat effecten van seizoenstrends in potentiële verdamping en neerslag werden meegenomen. Ook onze aanpak bleek een sterke bimodale verdeling op te leveren, die bovendien een grote gelijkenis vertoonde met de verdeling van observaties voor de

zomermaanden. Bovendien leerde een verdere analyse dat de bimodaliteit verdwijnt wanneer alleen wordt gekeken naar de verdeling aan het begin of eind van het warme seizoen.

Uit de analyses was op te maken dat de temporele variatie van bodemvocht sterk samenhangt met de niet-lineariteiten in de bodemvochtverliesfunctie. De plotselinge sterke toename van hydraulische geleidbaarheid boven een bepaald vochtgehalte zorgt ervoor dat bij een netto neerslagoverschot er relatief weinig dynamiek is in vochtgehalte. Omgekeerd zorgt de bodemvochtlimitatie op wortelopname voor verdamping ervoor dat bij lage vochtgehalten een zelfde soort effect optreedt: ook hier neemt de gevoeligheid van bodemvocht voor verandering in atmosferische condities af. Uit mijn analyses blijkt dat er geen sterke terugkoppeling tussen bodemvocht en neerslag nodig is om de geobserveerde bimodale verdeling te verklaren; een seizoenstrend in neerslag is voldoende. De resultaten bevestigen de conclusies van andere onderzoeken omtrent de sterkte van de terugkoppeling en de invloed ervan op de temporele variatie in bodemvocht en neerslag. Meer details hierover zijn te vinden in Teuling e.a. (2005).

#### *Vervolg*

De genoemde studies vormen slechts een gedeelte van mijn promotie-onderzoek. Met nog ruim anderhalf jaar voor de boeg hoop ik nog een aantal andere aspecten te kunnen onderzoeken.

Zo kijk ik momenteel naar de parameterisatie van de wortelopname in landoppervlaktmodellen. Er wordt (nog) vaak van uit gegaan dat de rol van de plant bij opname van water passief is; d.w.z. dat de opname evenredig is met de worteldichtheid, de potentiële verdamping en eventuele waterstress in een gedeelte van het profiel. Uit

onderzoek naar verdamping en bewortelingsstrategieën van planten onder stress blijkt echter dat planten vaak een veel actievere rol hebben bij wateropname dan voorheen gedacht. Worteldichtheid is hierbij niet per se een goede indicator. De meer actieve opname strategie heeft tot gevolg dat planten wellicht langer aan de atmosferische verdampingsvraag kunnen voldoen dan 'traditionele' modellen voorspellen, overigens zonder dat de totale hoeveelheid bodemvocht die voor de plant beschikbaar is hoeft te veranderen. Dit effect zou ook kunnen verklaren waarom veel modellen moeite hebben de uitdroging van bodemvocht voldoende goed te simuleren: een langere periode van potentiële verdamping zorgt immers voor een snellere uitdroging van de bodem.

Vervolgplannen omvatten o.a. het kijken naar het effect van topografie op het opschalen van puntschaalmodellen over een heterogeen landschap, en het vergelijken van de uitdrogingskarakteristieken van modellen en observaties. Voor eventueel geïnteresseerden: kopiëren van de genoemde (en nog te verschijnen) artikelen zijn te verkrijgen bij de auteur.

#### *Referenties*

##### **Albertson, J.D. en N. Montaldo (2003)**

Temporal dynamics of soil moisture variability: 1. Theoretical basis; in: *Water Resources Research*, vol 39, nr 10, 1274, doi:10.1029/2002WR001616.

##### **Charpentier, M.A. en P.M. Groffman**

(1992) Soil moisture variability within remote sensing pixels; in: *Journal of Geophysical Research*, vol 97, nr D17, pag 18.987–18.995.

##### **D'Odorico, P. en A. Porporato (2004)**

Preferential states in soil moisture and climate dynamics; in: *Proceedings of the National Academy of Sciences (USA)*, vol 101, nr 24, pag 8848–8851,

- doi:10.1073/pnas.0401428101.
- Famiglietti, J.S., J.W. Rudnicki en M. Rodell (1998)** Variability in surface moisture content along a hillslope transect: Rattlesnake Hill, Texas; in: *Journal of Hydrology*, vol **210**, pag 259–281.
- Famiglietti, J.S., J.A. Devereaux, C.A. Laymon, T. Tsegaye, P.R. Houser, T.J. Jackson, S.T. Graham, M. Rodell en P.J. van Oevelen (1999)** Ground-based investigation of soil moisture variability within remote sensing footprints during the Southern Great Plains 1997 (SGP97) Hydrology Experiment; in: *Water Resources Research*, vol 35, nr 6, pag 1839–1851.
- Findell, K.L. en E.A.B. Eltahir (1997)** An analysis of the soil moisture-rainfall feedback, based on direct observations from Illinois; in: *Water Resources Research*, vol **33**, nr 4, pag 725–735.
- Hawley, M.E., T.J. Jackson en R.H. McCuen (1983)** Surface soil moisture variation on small agricultural watersheds; in: *Journal of Hydrology*, vol **62**, pag 179–200.
- Hupet, F. en M. Vanclooster (2002)** Intraseasonal dynamics of soil moisture variability within a small agricultural maize cropped field; in: *Journal of Hydrology*, vol **261**, pag 86–101.
- Koster, R.D., M.J. Suarez, P. Liu, U. Jambor, A. Berg, M. Kistler, R. Reichle, M. Rodell en J.S. Famiglietti (2004a)** Realistic initialization of land surface states: Impacts on subseasonal forecast skill; in: *Journal of Hydrometeorology*, vol 5, nr 6, pag 1049–1063.
- Koster, R.D., P.A. Dirmeyer, Z. Guo, G. Bonan, E. Chan, P. Cox, C.T. Gordon, S. Kanae, E. Kowalczyk, D. Lawrence, P. Liu, C.-H. Lu, S. Malyshev, B. McAvaney, K. Mitchell, D. Mocko, T. Oki, K. Oleson, A. Pitman, Y.C. Sud, C.M. Taylor, D. Verseghy, R. Vasic, Y. Xue en T. Yamada (2004b)** Regions of strong coupling between soil moisture and precipitation; in: *Science*, vol **305**, nr 5687, pag 1138–1140, doi:10.1126/science.1100217.
- Owe, M., E.B. Jones en T.J. Schmugge (1982)** Soil moisture variation patterns observed in Hand County, South Dakota; in: *Water Resources Bulletin*, vol **18**, nr 6, pag 949–954.
- Salvucci, G.D., J.A. Saleem en R. Kauffmann (2002)** Investigating soil moisture feedback on precipitation with tests of Granger causality; in: *Advances in Water Resources*, vol **25**, nrs 8–12, pag 1305–1312.
- Svetlitchnyi, A.A., S.V. Plotnitskiy en O.Y. Stepovaya (2003)** Spatial distribution of soil moisture content within catchments and its modelling on the basis of topographic data; in: *Journal of Hydrology*, vol **277**, pag 50–60, doi:10.1016/S0022-1694(03)00083-0.
- Teuling, A.J. en P.A. Troch (2005)** Improved understanding of soil moisture variability dynamics; in: *Geophysical Research Letters*, vol **32**, nr 5, L05404, doi:10.1029/2004GL021935.
- Teuling, A.J., R. Uijlenhoet en P.A. Troch (2005)** On bimodality in warm season soil moisture observations; in: *Geophysical Research Letters*, vol **32**, nr 13, L13402, doi:10.1029/2005GL023223.
- Western, A.W. en R.B. Grayson (1998)** The Tarrawarra data set: soil moisture patterns, soil characteristics, and hydrological flux measurements; in: *Water Resources Research*, vol **34**, nr 10, pag 2765–2768.

Adriaan J. Teuling  
Wageningen Universiteit  
Ryan.Teuling@wur.nl