
Aquapodium promovendis

Aquapodium promovendis biedt een podium voor promovendi in de hydrologie. We denken aan promovendi variërend van pas begonnen, met al wel een duidelijk omschreven onderzoeksplan voor ogen, tot aan pas gepromoveerd, zonder al eerder in STROMINGEN gepubliceerd te hebben. Alle promotieonderwerpen in de hydrologie zijn

welkom. Promovendi worden uitgenodigd om hier hun plannen uiteen te zetten en eventueel hun (al dan niet voorlopige) resultaten te presenteren. Het is met nadruk ook de bedoeling om daarbij een brug te slaan tussen de wetenschappelijke kennisontwikkeling en de praktijk van het waterbeheer. Het is ook de bedoeling om op de bijdrage een discussie te laten volgen in het volgende nummer van STROMINGEN. Deze keer: Joost Heijkers.

Estimating Water Balance Components At Various Spatial & Temporal Scales

Inleiding

Voor tal van waterhuishoudkundige problemen (slechte waterkwaliteit, onvoldoende waterhoeveelheden in bepaalde seizoenen, waterverdelingsvraagstukken) is een analyse van de waterbalans een eerste stap naar de oplossing. Echter, het opstellen van de waterbalans, in het bijzonder het voldoende nauwkeurig schatten van de verschillende componenten is zeer lastig. De nauwkeurigheid ervan wordt o.a. bepaald door (Troch, 1999):

- I De kwaliteit van de gebruikte metingen en/of berekeningen;
- II De gebiedsgrootte;

III De tijdstap waarvoor de balans wordt opgemaakt.

Vaak weten de hydrologen en beleidsmedewerkers niet welke nauwkeurigheid gewenst is. Los van dit meer beleidsmatige vraagstuk staat het meer wetenschappelijke probleem, waar ik in het kader van mijn promotie uitwerking aan wil geven. In dit 'artikel' zal ik een korte beschouwing geven op de waterbalans in het algemeen, de verschillende schattingsmethoden, de onderzoeksaspecten waar ik me mee wil gaan bezighouden en de opzet van mijn proefschrift. Ten slotte zal ik e.e.a. in een breder, toegepast gericht perspectief plaatsen.

De Waterbalans

In principe kunnen drie ‘typen’ waterbalansen worden onderscheiden:

- I De waterbalans van landelijke gebieden;
- II De waterbalans van bosgebieden;
- III De waterbalans van stedelijke gebieden.

In mijn proefschrift zullen deze in principe alle drie worden belicht. Voor het gemak zal ik in deze beschouwing de waterbalans van het landelijke gebied als leidraad gebruiken. Deze luidt:

$$\Delta S = P - E + Q_{SEEP} - Q_{INFIL} - U_{OUT} + U_{IN}$$

Waarbij:

ΔS : Bergingsverandering* (mm)

P: Neerslag (mm)

E: Evapotranspiratie (mm)

Q_{SEEP} : Aanvoer van grondwater (mm)

Q_{INFIL} : Afvoer van grondwater (mm)

U_{IN} : Aanvoer van oppervlaktewater (mm)

U_{OUT} : Afvoer van oppervlaktewater (mm)

*: Bestaande uit de componenten bodemvocht-, oppervlaktewater-, grondwaterberging.

Schattingsmethoden

De waterbalanscomponenten (WBC's) kunnen met een drietal methoden worden afgeleid:

- I Veldmetingen;
- II Remote Sensing;
- III Modelberekeningen.

Onderstaande tabel toont een overzicht waaruit duidelijk wordt welke WBC's wel en niet met deze methoden kunnen worden geschat.

Tabel 1: WBC-schattingsmethoden.

W.B.C.:	ΔS	P	E	Q_{SEEP}	Q_{INFIL}	U_{in}	U_{out}
Veld-metingen	JA1	JA4	JA7	JA10	JA1	JA12	JA12
Remote Sensing	JA2	JA5	JA8	Nee11	Nee11	Nee11	Nee11
Model-Berekeningen	JA3	JA6	JA6, 9	JA3	JA3	JA3	JA3

De indexen in de tabel corresponderen met de volgende technieken:

- 1 Directe metingen aan grond- en oppervlaktewaterstanden (bv. met automatische drukopnemers) en bodemvochtcondities (bv. met behulp van TDR);
- 2 Bijvoorbeeld met behulp van gravitatie-metingen (Swenson e.a., 2003) of satelliet-beelden;
- 3 Met behulp van een geïntegreerd grond-, bodem-, en oppervlaktewatermodelcode, zoals SIMGRO (Veldhuizen e.a., 1998). Het gebruik van een geïntegreerd modelcode is naar mijn idee te verkiezen boven een aantal codes die worden gekoppeld, omdat SIMGRO ‘automa-

- tisch’ rekening houdt met terugkoppelingsmechanismen tussen deelsystemen en dat alle deelsystemen in balans worden gebracht, zonder ongevraagd water te creëren of af te voeren en rekening houdend met de relaties tussen berging en stijghoogte in grond- en oppervlaktewater en bodemvocht. In het kader van mijn promotie zal ik dan ook gebruik gaan maken van SIMGRO;
- 4 Met behulp van neerslagstations (Buis-hand en Velds, 1980);
- 5 Regenradar (Uijlenhoet, 1999) en satellietbeelden (Petty, 1995);
- 6 Met behulp van weermodellen (Kuo e.a., 1993 en Hostetler e.a., 1993);

- 7 Met behulp van Eddy Correlatie systemen (Bastiaanssen e.a., 1998b), scintillometrie (Meijninger en De Bruin, 2000), en op de klassieke wijze, gebruikmakende van lysimeters;
- 8 Bijvoorbeeld met behulp van satellietbeelden in combinatie met het SEBAL-algoritme (Bastiaanssen e.a., 1998a) of het SEBS-algoritme (Su, 2002);
- 9 Bijvoorbeeld gebruikmakende van SWAP (Kroes e.a., 2000), SIMGRO (Veldhuizen e.a., 1998), MIKE-SHE (Refsgaard en Storm, 1995), VIC (Liang e.a., 1999) of TOPLATS (Pauwels e.a., 2002);
- 10 Bijvoorbeeld met behulp van isotopenanalyse (Kendall C. en J. J. McDonnell, 1998), of op basis van de klassieke methode die uitgaat van gemeten verschillen tussen stijghoogten in de verschillende pakketten en de weerstand van de deklaag. Recent heeft TNO-NITG ook onderzoek gedaan naar de mogelijkheden om kwel vast te stellen met behulp van temperatuurmetingen (mondelinge mededeling Marc Bierkens). Als laatste kan nog de indirecte methode op basis van vegetatie-kartering worden genoemd. Wanneer er bepaalde soorten of vegetaties zijn gekarteerd die als kwel-indicator kunnen worden aangeduid leveren ook deze data relevante informatie op;
- 11 Gebruikmakende van in de winter, na een stevige vorst- en sneeuwperiode genomen luchtfoto's. In gebieden met een flinke kweldruk mag verwacht worden dat delen van het oppervlakte-watersysteem niet bevroren zijn. Deze zijn op de luchtfoto's (geautomatiseerd) vaak goed te herkennen;
- 12 Door het bemeten van de waterstanden en energiehoogtes bij kunstwerken (Boiten, 2000).

Voor- en nadelen

Iedere methode heeft natuurlijk specifieke voor- en nadelen. Grofweg komen die op het volgende neer:

- I Metingen in het veld leveren in principe de meest nauwkeurige schattingen op. Groot probleem is het feit dat de meetwaarde in principe alleen iets zegt over de toestand van het systeem op het moment van de meting, alsmede op de plek van de meting. In de praktijk blijkt verder vaak dat de meetpunten liggen op een zodanige plek dat ze niet bruikbaar zijn voor een analyse van de waterbalans;
- II Remote sensing beelden leveren over het algemeen vlakdekkende informatie op. Het is echter lastig de nauwkeurigheid in te schatten zonder uitgebreid veldwerk, en ook wordt vaak (vooral bij het gebruik van satellietbeelden) slechts op een beperkt aantal tijdstippen data 'gegenereerd', omdat een satelliet nu eenmaal niet elke dag overkomt;
- III Een model kan in principe op elke gewenste ruimte en tijdsschaal schattingen van de WBC's berekenen. Goede modeluitkomsten staan of vallen echter per definitie bij het gebruik van de juiste rekenconcepten, de juiste parameterwaarden, de juiste randvoorwaarden en de juiste initiële waarden. En die zijn doorgaands zeer lastig te bepalen.

De centrale onderzoeksvraag

Uit het voorgaande blijkt er een groot aantal methoden en technieken beschikbaar te zijn om WBC's te bepalen. Deze hebben allen hun specifieke voor- en nadelen. De centrale onderzoeksvraag luidt dan ook hoe we deze methoden geïntegreerd in kunnen zetten, om zodoende een zo nauwkeurig mogelijke schatting van de waarde van de WBC's te kunnen bereiken.

Onderzoeksaanpak

Uit de centrale onderzoeksvraag vloeien een aantal concrete onderzoeksvragen voort die gegroepeerd kunnen worden onder een aantal kernbegrippen:

I Ontwerp Monitoring-Systemen:

Een goed monitoring-ontwerp staat of valt bij het minutieus definiëren van de monitoring-doelstelling. In het licht van mijn centrale onderzoeksvraag kunnen de volgende monitoring-doelstellingen worden onderscheiden:

- 1 Het verzamelen van een meetset om de WBC's direct mee te schatten. De eerste paper waar ik kort geleden mee aan de slag ben gegaan behandelt de vraag welke ontwerp-methoden de meest nauwkeurige schatting van de WBC's oplevert: de design-based of model-based aanpak (Brus en De Gruijter, 1998));
- 2 Kallibratie en/of validatie remote-sensing beelden;
- 3 Optimalisatie performance stroomgebiedsmodel m.b.v. data-assimilatie.

Ik hoop hiermee mede een bijdrage te kunnen leveren aan het dichten van de kloof tussen experimentalist en modelleur.

Los van het ontwerpprobleem is het voor specifieke situaties nog steeds zeer lastig om op veldschaal adequaat te meten. Het meten van de stedelijke verdamping is bijvoorbeeld nog steeds geen sinecure, hoewel er wel progressie op dat vlak wordt gemaakt (Grimmond en Oke (1999). Het zou mooi zijn ook hier een relevante bijdrage aan te kunnen leveren.

II Stroomgebiedsmodellering

Zoals gezegd zal ik in het kader van mijn promotie gebruik gaan maken van de modelcode SIMGRO. De keuze voor

deze code is met name ingegeven omdat het de enige in Nederland veel gebruikte code is waarmee alle WBC's kunnen worden geschat, met uitzondering van de neerslag natuurlijk. Verder werk ik er in mijn hoedanigheid als waterschapshydroloog al veel mee. Tenslotte is het niet mijn bedoeling zelf een modelcode te gaan programmeren. Los daarvan is het wel zaak om een aantal aspecten nog eens goed onder de loep te houden:

- 1 Welke rekenconcepten gebruikt SIMGRO voor de schatting van de WBC's;
- 2 Zijn deze voor verbetering vatbaar;
- 3 Is deze verbetering wenselijk gegeven de winst in bijvoorbeeld de nauwkeurigheid t.o.v. van de inspanning die de programmeerklus met zich meebrengt.

III Data-assimilatie

Met de inzet van data-assimilatie (Troch e.a., 2003 en McLaughling, 2003) kunnen een tweetal doelen worden nagestreefd:

- 1 Parameter-optimalisatie;
- 2 Toestandsreconstructie of -schatting.

Een goed voorbeeld van de eerste techniek is de door NITG-TNO veelvuldig gepropageerde en gebruikte Representer-methode (Valstar, 2000), waarmee (o.a.) k-waarden kunnen worden geoptimaliseerd.

Toestandsreconstructie wordt veelal met behulp van het Kalman-filter (Kalman, 1960) uitgevoerd. Oorspronkelijk is deze techniek bedoeld voor lineaire systemen. Daar we in de hydrologie veelal met niet-lineaire sys-

overigens is de Representer-methode ook een van het Kalman-Filter afgeleid assimilatie schema, namelijk een Kalman-smoother (Valstar, 2000);

temen te maken hebben zijn er ook filtermethoden ontwikkeld die hiermee uit de voeten kunnen, zoals het Ensemble Kalman-Filter (Evensen, 1994) en het Extended Kalman-Filter (Quesney e.a., 2000).

Gegeven de doelstelling van mijn onderzoek zijn enkele belangrijke vragen die oplossing behoeven:

- 1 Welk data assimilatie schema past het beste bij mijn onderzoeksdoelstelling;
- 2 Moet de focus, gegeven de doelstelling van mijn promotie-werk, liggen bij parameter-optimalisatie of toestandsreconstructie, of bij beide (in een zekere volgorde);
- 3 Welk type meetdata gebruik ik voor parameter-optimalisatie en welke voor toestandsreconstructie^{**}. Dit lijkt misschien een triviaal vraagstuk, maar ik ken geen paper die hier een duidelijk antwoord op geeft;
- 4 Is het mogelijk een gekoppeld parameter-optimalisatie/toestandsreconstructie algoritme in te zetten en levert dit significant nauwkeurigere waarden op;
- 5 Gegeven de Nederlandse situatie waar ik me op zal toespitsen zal er speciale aandacht moeten worden besteed aan het accuraat schatten van het freatische grondwaterstandsverloop, door deze vrij sturend is voor een aantal belangrijke waterbalans componenten.

IV Onzekerheidsanalyse

Analyse van de onzekerheid, en hoe deze doorwerkt op de nauwkeurigheid van de schattingen vormt een rode draad door mijn gehele onderzoek. Ik

^{**} bijvoorbeeld gemeten grondwaterstanden voor parameter-optimalisatie en remote sensing beelden voor toestandsreconstructie.

denk dat per methode moet worden gekeken welke technieken (het beste) passen. De vraag is natuurlijk of er überhaupt een waarde-oordeel kan worden uitgesproken, in de zin van: de ene techniek is beter dan de andere.

Ik wil tenslotte duidelijk benadrukken dat ik in het kader van promotie zeer zeker niet de ontwikkeling van nieuwe technieken nastreeft. Primair doel is te onderzoeken hoe bestaande methoden optimaal kunnen worden geïntegreerd tot een raamwerk om zo nauwkeurig mogelijke schattingen van de WBC's te berekenen. Verder zal ik niet zelf alle hierover geponeerde onderzoeksvragen gaan oppakken. Dat is binnen het tijdsbestek van 4 jaar natuurlijk niet haalbaar. Met dit artikel poog ik enkel inzicht te verschaffen in mijn onderzoeksvraag en enkele van de problemen die ik bij de oplossing daarvan kan tegenkomen en wellicht dien op te lossen.

***: waarmee alle WBC's (exclusief neerslag) kunnen worden geschat!

Praktische gebruikswaarde

Geen hydroloog en waterbeheerder kan zijn werk goed uitvoeren zonder kennis van de waterbalans van het gebied waar hij/zij onderzoek wil gaan uitvoeren of het water moet beheren. Dat het opstellen van de waterbalans nog steeds bijzonder lastig is zal niemand ontkennen. Wat dat betreft denk ik dat er zeker veel behoefte is aan een overzichtswerk over dit onderwerp. Verder zorgt ook mijn werk als waterschaps-hydroloog er hopelijk voor dat de resultaten van mijn promotieonderzoek vrij goed aansluiten bij de wensen en vragen uit de praktijk. Door die binding met de praktijk verwacht ik andere accenten te leggen dan wanneer het onderzoek louter vanuit de

wetenschappelijke kant zou worden benaderd.

Door niet alleen te focussen op zaken als stroomgebiedmodellering, data-assimilatie en onzekerheidsanalyse, maar ook een aspect als monitoring-ontwerp in beschouwing te nemen hoop ik verder de kloof tussen experimentalist en modelleur deels te dichten. Het is mijn inschatting dat daarmee een hoop onzekerheid is weg te nemen binnen de hydrologische theorie en praktijk. Of dit allemaal gaat lukken, en of aan deze kennis behoefte is zal de tijd hopelijk snel leren. Ik sta in elk geval open voor vragen en kritiek. Ik realiseer me overigens terdege dat ik met het publiceren van deze tekst wellicht verwachtingen wek die ik uiteindelijk niet kan waarmaken. Ik ben echter graag bereid dit risico te nemen, omdat dit wellicht leidt tot feedback die de kwaliteit van mijn uiteindelijke proefschrift kan helpen verbeteren.

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*, vol 212–213, pag 198–212.
- Bastiaanssen, W.G.M., H. Pelgrum, J. Wang, Y. Ma, J. Moreno, G.J. Roerink en T. van der Wal (1998)** The Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL): Part 2 validation; in: *Journal of Hydrology*, vol 212–213, pag 213–229.
- Boiten, W. (2000)** Hydrometry; Lecture Note Series, IHE, Delft.
- Brus, D.J. en J.J. de Gruijter (1997)** Random sampling or geostatistical modelling? Choosing between design-based and model-based sampling strategies for soil (with Discussion); in: *Geoderma*, vol 80, pag 1–44.
- Buishand, T.A. en C.A. Velds (1980)** Klimaat van Nederland 1. Neerslag en Verdamping; Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut, De Bilt.
- Evensen, G. (1994)** Sequential data assimilation with a nonlinear quasi-geostrophic model using Monte-Carlo methods to forecast error statistics; in: *J. Geophys. Res.*, 99(C5), pag 10143–10162.
- Grimmond, C.S.B. en T.R. Oke (1999)** Evapotranspiration rates in urban areas; in: *Impacts of Urban Growth on Surface Water and Groundwater Quality*, IAHS Publication no, 259.
- Gruijter, J.J. de (2000)** Sampling for spatial inventory and monitoring of natural resources; Alterra-Report 070, Wageningen.
- Hostetler, S.W. en F. Giorgi (1993)** Use of output from high-resolution atmospheric models in landscape-scale hydrologic models: An assessment; in: *Water Resources Research*, 29(6), pag 1685–1695.
- Kalman, R. E. (1960)** A new approach to linear filtering and prediction problems; in: *J. Basic Engng.*, 82D, pag 35–45.
- Kendall C. en J. J. McDonnell (1998)** (red) Isotope Tracers in Catchment Hydrology; Elsevier Science B.V., Amsterdam, 839 pag.
- Kroes, J.G., J.G. Wesseling en J.C. van Dam (2000)** Integrated modelling of the soil-water-atmosphere-plant system using the model SWAP 2.0, an overview of theory and an application; in: *Hydrological processes*, vol 14, pag 1993–2002.
- Kuo, Y.H., Y.R. Guo en E. Westwater (1993)** Assimilation of precipitable water measurements into a mesoscale numerical model; in: *Monthly Weather Review*, vol 121, pag 1215–1239.
- Liang, X., E. F. Wood en D. P. Lettenmaier (1999)** Modeling ground heat flux in land surface parameterization schemes; in: *J. Geophys. Res.*, 104(D8), pag 9581–9600.

- Mijninger, W.M.L. en H.A.R. de Bruin (2000)** The sensible heat fluxes over irrigated areas in western Turkey determined with a large aperture scintillometer; in: *Journal of Hydrology*, vol **229**, pag 42–49.
- Pauwels V.R.N., R. Hoeben, N.E.C. Verhoest, F.P. De Troch en P.A. Troch (2002)** Improvement of TOPLATS-based discharge predictions through assimilation of ERS-based remotely sensed soil moisture values; in: *Hydrological Processes*, 16 (5), pag 995–1013.
- Petty, G.W. (1995)** The status of satellite-based rainfall estimation over land; in: *Remote Sens. Environ.*, vol **51**, pag 125–137.
- Quesney, A., C. François, C. Ottlé, S., Le Hégarat-Masclé, C. Loumagne en M. Normand (2000)** Sequential assimilation of SAR/ERS data in a surface hydric model coupled to a global hydrological model with an extended Kalman filter; In: *Remote Sensing and Hydrology 2000*, Symposium, 3–7 April 2000, Santa Fe, New Mexico.
- Refsgaard, J.C. en B. Storm (1995)** MIKE SHE; in: Vijay P. Singh (red) *Computer Models of Watershed Hydrology*, Water Resources Publications, Highlands Ranch, Colorado.
- Su, Z. (2002)** The Surface Energy Balance System (SEBS) for estimation of turbulent heat fluxes; in: *Hydrology and Earth System Sciences*, 6(1): pag 85–99.
- Swenson, S., J. Wahr en P. C. D. Milly (2003)** Estimated accuracies of regional water storage variations inferred from the Gravity Recovery and Climate Experiment (GRACE); in: *Water Resources Research*, 39(8), 1223, doi:10.1029/2002WR001808.
- Troch, P.A. (1999)** Laten we de (water)balans opmaken; oratie Wageningen Universiteit.
- Uijlenhoet, R. (1999)** Parameterization of rainfall microstructure for radar meteorology and hydrology; proefschrift WUR, Wageningen.
- Valstar, J.R. (2000)** Inverse modeling of groundwater flow and transport; proefschrift Technische Universiteit Delft.
- Veldhuizen, A.A., A. Poelman, L.C.P.M. Stuyt en E.P. Querner (1998)** Software documentation for SIMGRO V3.0; Regional water management simulator; Technical document 50, SC-DLO Wageningen.

Joost Heijkers