

SPHY (Spatial Processes in HYdrology) toepassing Hupselse Beek

Oktober 2012

Project

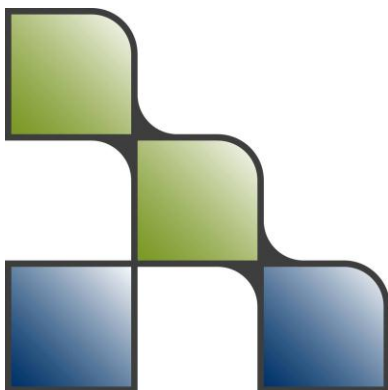
Nederlandse Hydrologische Vereniging Modeling Contest

Auteurs

Peter Droogers

Wilco Terink

FutureWater rapport 124



FutureWater

Costerweg 1V
6702 AA Wageningen
The Netherlands

+31 (0)317 460050

info@futurewater.nl

www.futurewater.nl

Inhoud

1	Introductie	4
1.1	Aanleiding	4
1.2	Model keuze	4
1.3	SPHY (Spatial Processes in HYdrology)	5
2	Resultaten	8
2.1	Afvoeren	8
2.1.1	Achtergrond	8
2.1.2	Jaarlijkse afvoeren	8
2.1.3	Maandelijkse afvoer	9
2.1.4	Dagelijkse afvoeren	9
2.1.5	Uurwaarden afvoeren	10
2.1.6	Afvoer 2010	12
2.1.7	Conclusies afvoer	12
2.2	Grondwaterstanden	13
2.3	Inundatie	14
3	References	17



Figuren

Figuur 1. Indeling van modellen met enkele willekeurig gekozen modelnamen (gebaseerd op: Droogers en Perry, 2008).....	5
Figuur 1: Modelconcept van SPHY (Spatial Processes in Hydrology).....	6
Figuur 3: Boven: Verdampingstekort in mm per dag na langdurige periode zonder neerslag en verdampingstekort na periode van regenval. Onder: Relatief bodemvocht na langdurige periode zonder neerslag en relatief bodemvocht op de dag na een hevige bui (bui van 7 mei 2007).	7
Figuur 2. Jaarlijkse afvoer voor het model SPHY en waarnemingen bij de stuw Hupsel.	8
Figuur 3. Maandelijkse afvoer voor het model SPHY en waarnemingen bij de stuw Hupsel.	9
Figuur 4. Dagelijkse afvoer voor het model SPHY en waarnemingen bij de stuw Hupsel.....	10
Figuur 5. Dagelijkse afvoer voor 2007 voor het model SPHY en waarnemingen bij de stuw Hupsel.	10
Figuur 5. Uur afvoeren voor 2007 voor het model SPHY en waarnemingen bij de stuw Hupsel.	11
Figuur 5. Uur afvoeren voor februari en maart 2007 voor het model SPHY en waarnemingen bij de stuw Hupsel.	11
Figuur 5. Uur afvoeren voor 24-aug tot 3-sep 2010 voor het model SPHY.	12
Figuur 5. Gemeten en gesimuleerde grondwaterstanden voor buis B34G0286.....	14
Figuur 5. Gemeten en gesimuleerde grondwaterstanden voor buis B34G0363.....	14
Figuur 5. Geïnundeerd gebied op 27-aug-2012 zoals berekend met SPHY.	15



1 Introductie

1.1 Aanleiding

Hydrologische extremen vormen de basis van veel belangrijke investeringen en beleidskeuzes. Het gaat hierbij dan vooral om zowel extreem droge als extreem natte omstandigheden. In augustus 2010 is 138 mm neerslag in 24 uur gevallen in Hupsel (Brauer et al., 2011). Het Hupselse Beek stroomgebied is het meest bemeten stroomgebied van Nederland, en is hierdoor het belangrijkste hydrologische proefgebied in Nederland.

De Nederlandse Hydrologische Vereniging heeft naar aanleiding van deze extreme neerslag gebeurtenis een modelleer wedstrijd uitgeschreven. Doel is om voor deze extreme situatie zo goed mogelijk de werkelijkheid na te bootsen. De kwantitatieve beoordeling hiervan is vastgesteld op:

- Afvoer op uurbasis
- Grondwaterstanden op dagbasis
- Geïnundeerd areaal

Een dataset met afvoeren op uurbasis over de periode 2000 tot en met 2009 is gegeven als kalibratie dataset. Het jaar 2010 wordt vervolgens gebruikt voor validatie van het model.

Voor meer details wordt verwezen naar:

- NHV modeling contest:
 - <http://www.nhv.nu/hupsel-modeling-contest>
 - diverse emails
- Hupselse Beek achtergrond:
 - Mourik en Droogers, 1989
 - Eertwegh en Meinardi, 1999
- Extreme neerslag aug-2010:
 - Brauer et al., 2011.

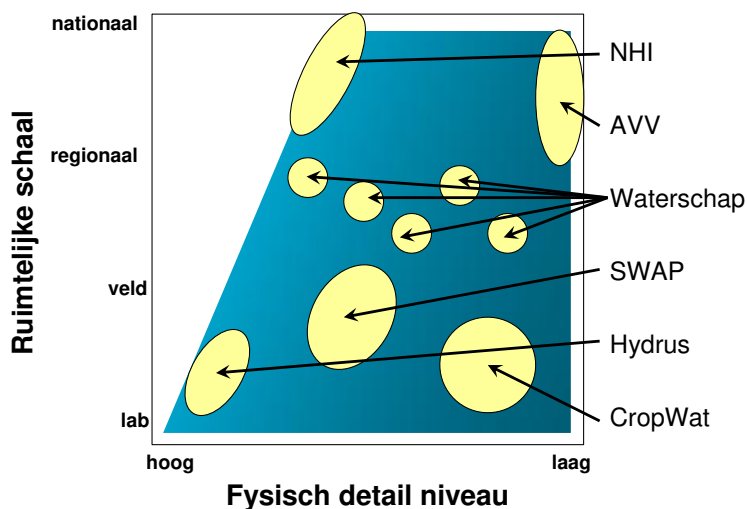
1.2 Model keuze

De laatste jaren komt er meer aandacht voor modelkeuze als functie van de vraag die beantwoordt moet worden. Zo zal aan een model voor de impact van klimaatverandering andere eisen gesteld worden dan aan een model voor het ontwerpen van een dijk (soms samengevat als relatieve vs. absolute nauwkeurigheid). Ook procesmatig zullen er altijd keuzes gemaakt moeten worden: kwantiteit vs. kwaliteit, gewasgroei vs. aquifers, veldschaal vs. wereldschaal, etc. Het is dan ook evident dat “het beste model” niet bestaat (Droogers et al., 2008). In de praktijk speelt naast de vraag die beantwoordt moet worden ook aspecten mee als: beschikbaarheid van geld/tijd, aanwezigheid van data, aanwezige kennis, etc.

Uitgaande van de vraag die bij deze “modeling contest” is gesteld, zou de keuze moeten vallen op een fysisch gebaseerd model op stroomgebiedsschaal met ook nog aardig wat hydraulica componenten en een robuuste grondwater component.



De aanpak zoals beschreven in dit rapport is enigszins anders en stelt de vraag hoe een relatief simpel model zich gedraagt onder een extreme gebeurtenis. Voor dit doel hebben we het SPHY model gebruikt dat op landelijke schaal als operationeel model de actuele verdamping en het bodemvocht uitrekent (Terink et al., 2012). Zonder enige verdere kalibratie te doen zijn de resultaten voor het Hupselse gebied uit het landelijke SPHY model gebruikt.



Figuur 1. Indeling van modellen met enkele willekeurig gekozen modelnamen (gebaseerd op: Droogers en Perry, 2008).

1.3 SPHY (Spatial Processes in HYdrology)

SPHY (Spatial Processes in HYdrology) is opgezet met het doel “een hydrologisch waterbalans model voor Nederland te ontwikkelen dat gericht is op het simuleren van de actuele verdamping en het bodemvocht in de wortelzone”. SPHY is een raster gebaseerd model met een ruimtelijke resolutie van 250 meter, een temporele resolutie van een dag, en geparameteriseerde procesbeschrijvingen in de flexibele programmeeromgeving PCRaster (Karssen et al., 2001). Het basisconcept voor SPHY (Figuur 2) bestaat uit een tweelaags gekoppeld bakjesmodel en een vegetatielaag.

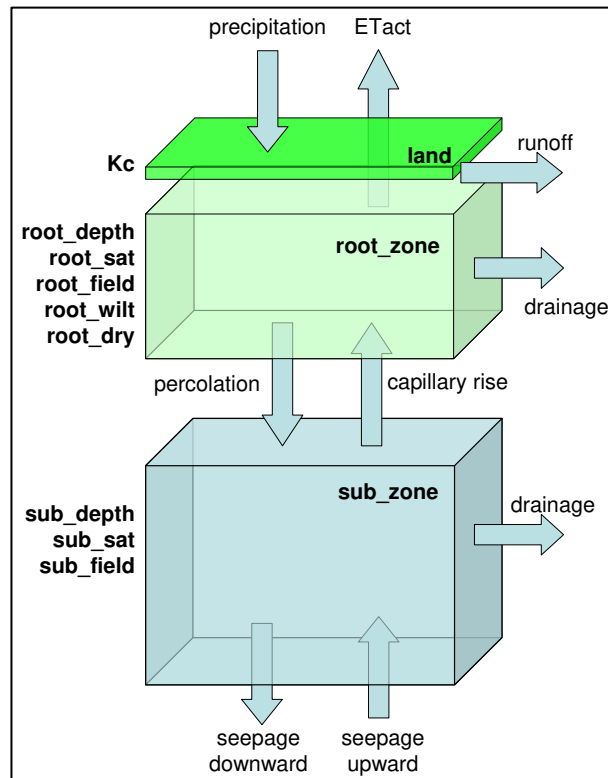
SPHY is opgebouwd uit de combinatie van componenten uit bestaande en goed geteste modellen: HydroS (Droogers en Immerzeel, 2010), SWAT (Shrinivasan, 1998), PCGLOBWB (Sperna Weiland et al., 2010) en HimSim (Immerzeel et al., 2012). SPHY heeft dus ook routines die gericht zijn op “mountain hydrology”, inclusief sneeuw en gletsjer smelt en bewegingsprocessen. Deze zijn uiteraard buiten beschouwing gelaten voor de toepassing in Nederland. Een gedetailleerde beschrijving van SPHY en toepassing binnen Nederland is elders te vinden (Terink et al., 2012).

Een voorbeeld van de toepassing van SPHY in Nederland is te zien in Figuur 3.

Enkele referenties naar SPHY en enkele voorgangers van het huidige SPHY model zijn:



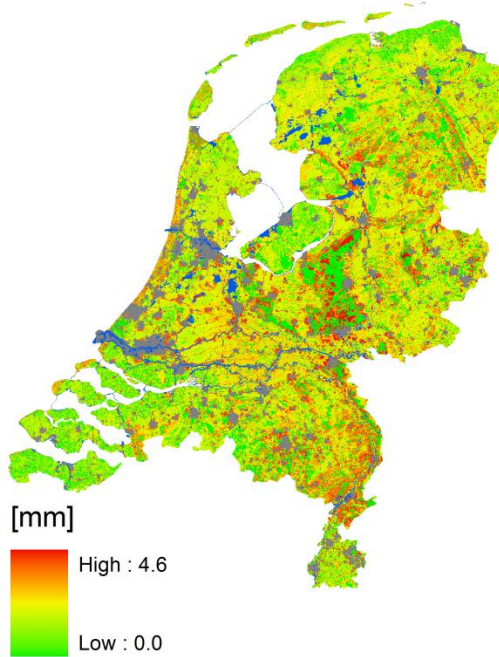
- SPHY ontwikkeling voor NL (Droogers en Immerzeel, 2010)
- SPHY toepassing voor wateroverlast onder klimaatverandering (Immerzeel et al. 2010)
- SPHY verfijning voor NL (Terink et al., 2012)
- SPHY in Aral Meer gebied (Lutz et al., 2012)
- SPHY in Himalaya (Immerzeel et al., 2010)
- SPHY in klimaatstudies North Africa (Droogers et al., 2012).



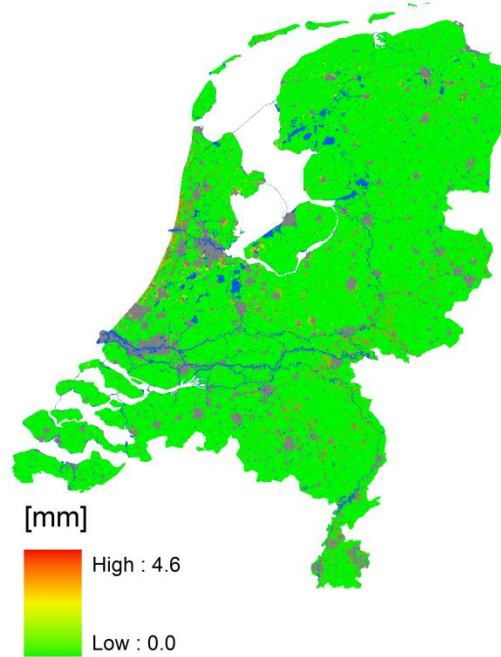
Figuur 2: Modelconcept van SPHY (Spatial Processes in Hydrology).



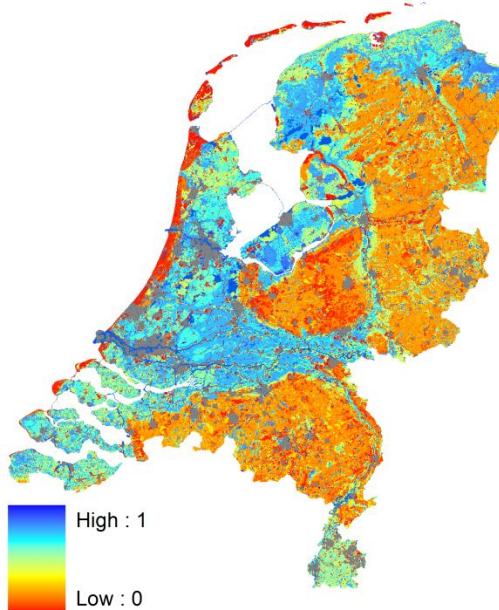
Verdampingstekort 6 mei



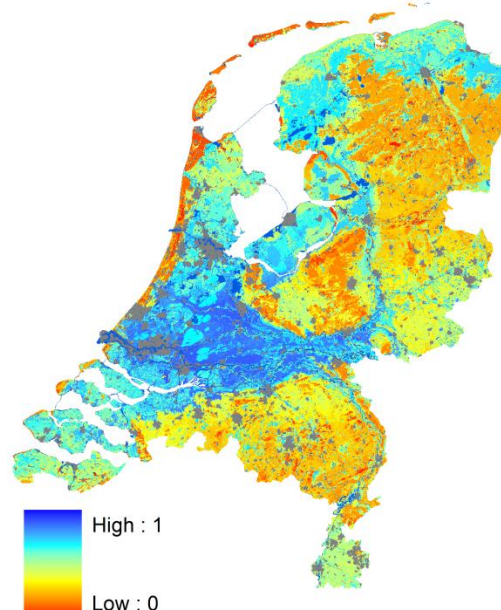
Verdampingstekort 19 mei



Rel. bodemvocht 6 mei



Rel. bodemvocht 8 mei



Figuur 3: Voorbeeld toepassing SPHY. Boven: Verdampingstekort in mm per dag na langdurige periode zonder neerslag en verdampingstekort na periode van regenval. Onder: Relatief bodemvocht na langdurige periode zonder neerslag en relatief bodemvocht op de dag na een hevige bui (bui van 7 mei 2007). Bron: Terink et al., 2012.

2 Resultaten

2.1 Afvoeren

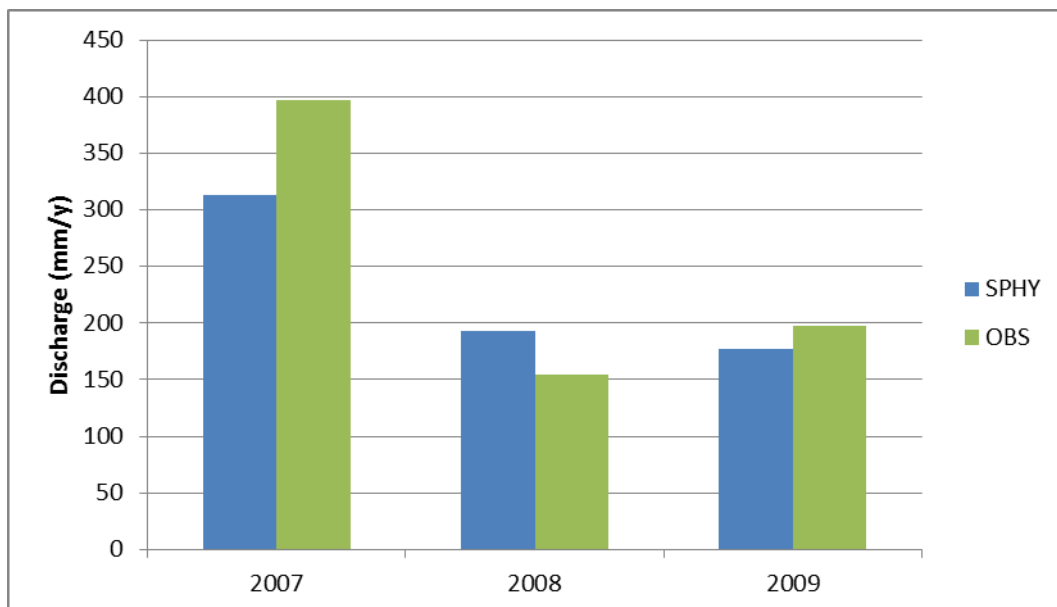
2.1.1 Achtergrond

De som van de afvoeren van de pixels uit SPHY die in het afwateringsgebied boven de Hupselse Stuw liggen zijn gebruikt als afvoer bij de stuw. Het gebied beslaat 92 pixels en elke pixel is 250 x 250 m dus totale oppervlakte van het gebied is 5.750.000 m² (5,75 km²). Deze oppervlakte is iets kleiner dan de vaak gerapporteerde oppervlakte van Hupsel van 6,5 km². Dit verschil komt door afronding aan de randen van het afwateringsgebied. De gerapporteerde resultaten die in m³ s⁻¹ zijn gegeven, zijn daarom gecorrigeerd voor dit verschil in oppervlakte met een factor 6,5/5,75 (= 1.13).

SPHY is opgezet voor heel Nederland voor de jaren 2005 tot en met 2010. De eerste twee jaar zijn beschouwd als “opwarming” en resultaten voor de jaren 2007 tot en met 2009 zullen eerst worden vergeleken met waarnemingen.

2.1.2 Jaarlijkse afvoeren

De vergelijking op jaarlijkse afvoeren zijn te zien in Figuur 4. In 2007 is de afvoer wat lager dan gemeten en voor 2008 geldt het omgekeerde. In 2009 zijn model en waarnemingen ongeveer gelijk.



Figuur 4. Jaarlijkse afvoer voor het model SPHY en waarnemingen bij de stuw Hupsel.

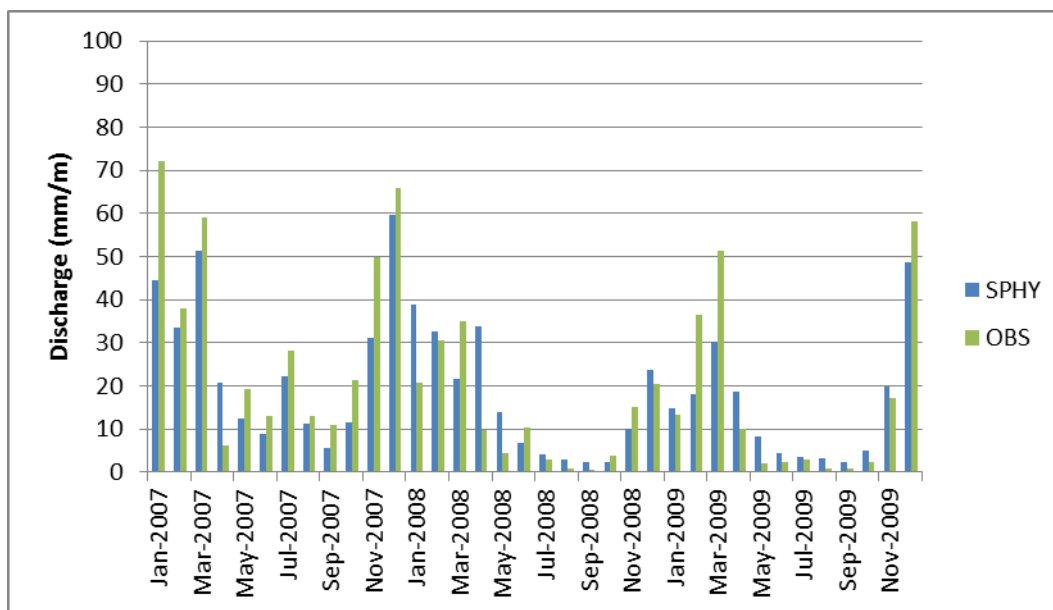


2.1.3 Maandelijks afvoer

Vervolgens is naar maandelijks afvoer gekeken. In Figuur 5 is te zien dat de maanden met hoge gemeten afvoeren minder goed worden gesimuleerd door SPHY. In de drogere zomermaanden laat SPHY meestal een wat hogere afvoer zien.

Voor deze maandelijks waarden zijn enkele statistische waarden bepaald:

- Pearson $r = 0,87$
- RMSE = 10,5 mm/maand
- Nash–Sutcliffe = 0,74



Figuur 5. Maandelijks afvoer voor het model SPHY en waarnemingen bij de stuw Hupsel.

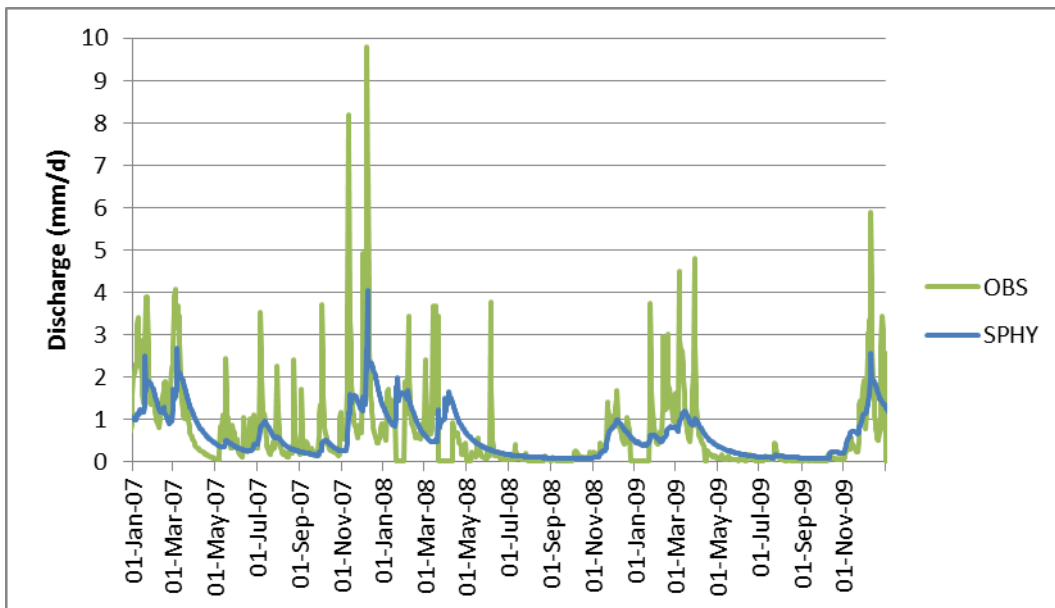
2.1.4 Dagelijkse afvoeren

De vergelijking op dagelijkse afvoeren is gemaakt door de uur-waarnemingen te sommeren naar dagwaarden. SPHY heeft gerekend op dagbasis en heeft KNMI dagneerslagen gebruikt. Deze KNMI waarnemingen zijn echter van 8.00 uur voorgaande dag tot 8.00 uur huidige dag en daarom zijn de waarnemingen ook met deze acht uur verschoven.

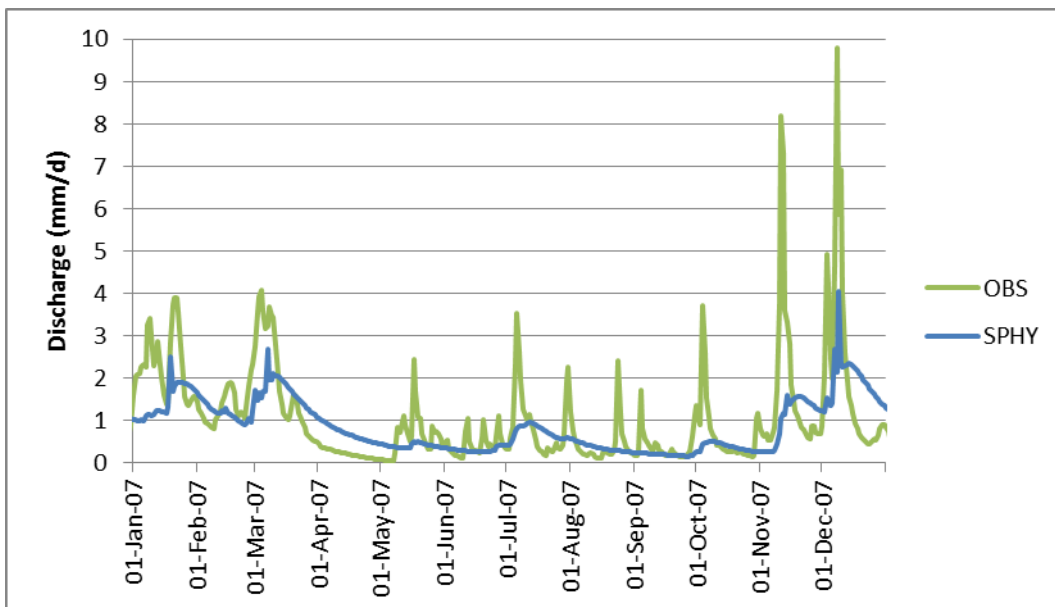
In Figuur 6 zijn de dagelijkse waarden voor SPHY en de waarnemingen te zien. Het is duidelijk dat SPHY niet goed in staat is om de piekafvoeren correct te simuleren; de regressie in piek afvoer is hoger en duurt langer. In Figuur 7 is dit nogmaals getoond in detail voor het jaar 2007.

Voor deze dagelijkse waarden over de periode van drie jaar (2007 tot en met 2009) zijn enkele statistische waarden bepaald:

- Pearson $r = 0,65$
- RMSE = 0,80 mm/d
- Nash–Sutcliffe = 0,39



Figuur 6. Dagelijkse afvoer voor het model SPHY en waarnemingen bij de stuw Hupsel.



Figuur 7. Dagelijkse afvoer voor 2007 voor het model SPHY en waarnemingen bij de stuw Hupsel.

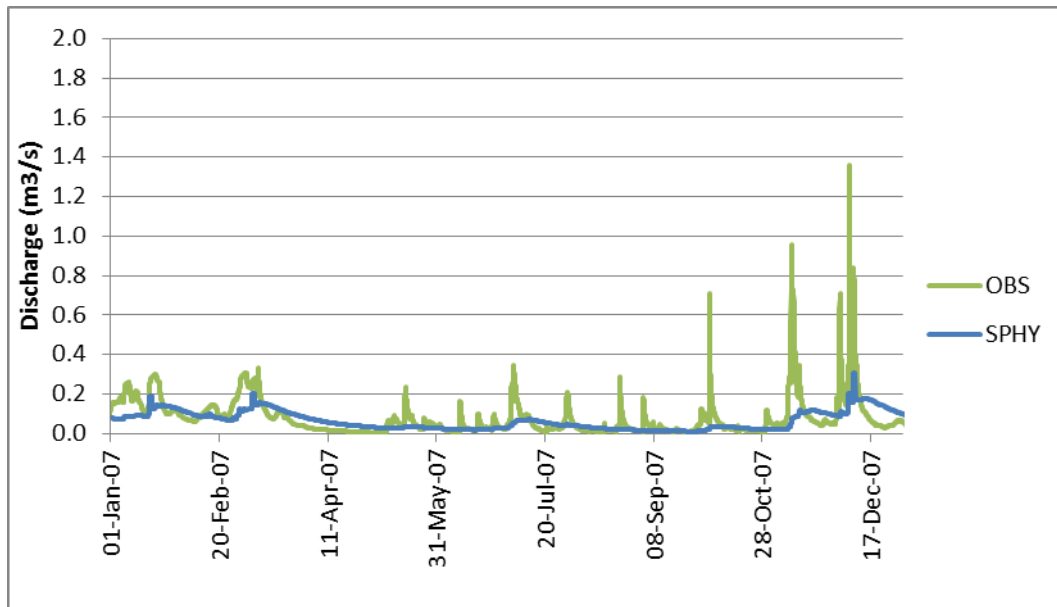
2.1.5 Uurwaarden afvoeren

SPHY is opgezet op dagbasis en levert dus geen uurwaarden. Om toch een indruk te krijgen van de vergelijking met uurlijkse waarnemingen is een simpele dubbele “moving average” van respectievelijk 20 uur en 8 uur van de dagwaarden genomen. Deze 8 uur is gekozen om de gemiddelde geschatte respons tijd van het gebied weer te geven. De 20 uur correctie bestaat uit een component van 12 uur om de SPHY waarden aan het eind van een dag terug te brengen naar het midden van de dag, en de 8 uur component voor de responstijd van het gebied.

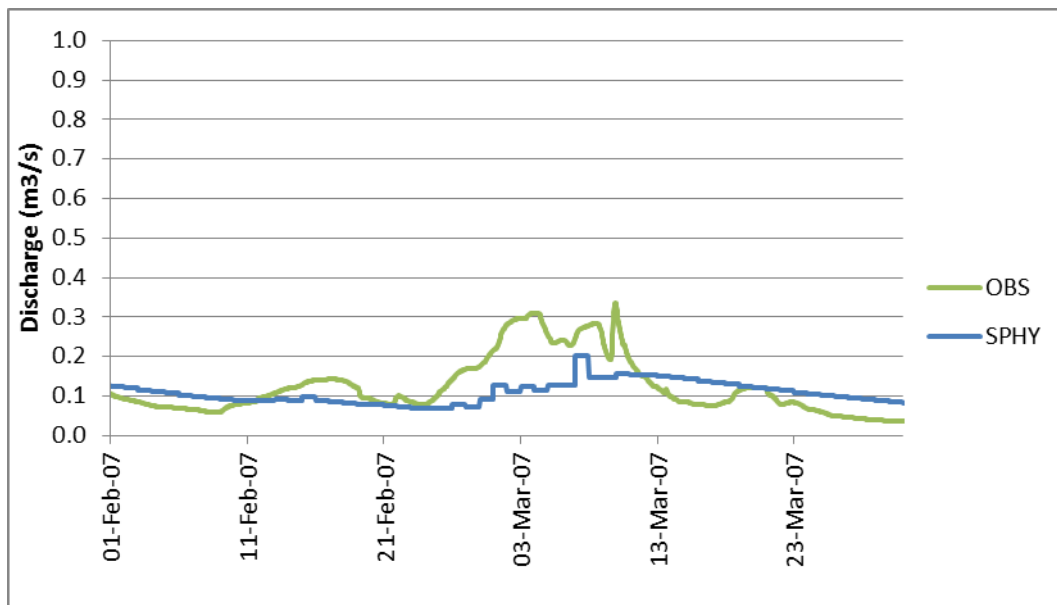


Een voorbeeld voor het jaar 2007 en twee maanden in dit jaar zijn te zien in Figuur 8 en Figuur 9. Voor deze uur waarden over de periode van drie jaar (2007 tot en met 2009) zijn enkele statische waarden bepaald:

- Pearson = 0,60
- RMSE = 0.0045 m³/s
- Nash–Sutcliffe = 0,34



Figuur 8. Uur afvoeren voor 2007 voor het model SPHY en waarnemingen bij de stuw Hupsel.



Figuur 9. Uur afvoeren voor februari en maart 2007 voor het model SPHY en waarnemingen bij de stuw Hupsel.

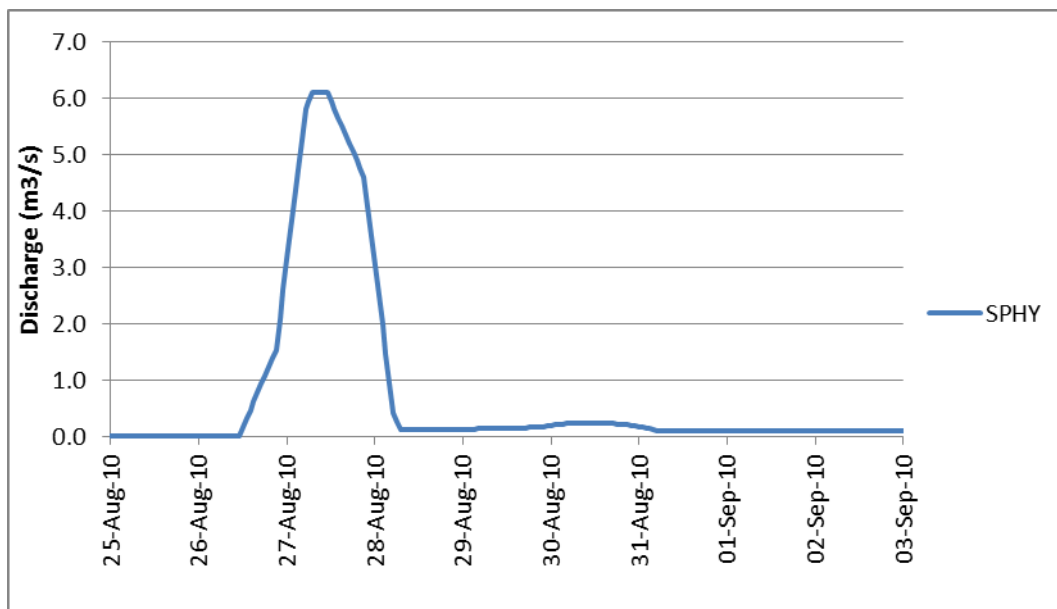


2.1.6 Afvoer 2010

Voor het jaar 2010 zijn geen afvoergegevens beschikbaar gesteld, omdat deze gebruikt worden voor de modeling contest.

Figuur 10 laat de afvoerpiek zien voor de neerslaggebeurtenis van 26-27 aug-2010 zoals berekend met SPHY op dagelijkse waarden en geconverteerd naar uur-waarden zoals beschreven in de voorgaande sectie. De afvoerpiek wordt bereikt op 27-aug-2010 om 7:00 en houdt vijf uur aan. De maximale waarde gedurende deze vijf uur is $6,1 \text{ m}^3/\text{s}$. Deze waarde ligt relatief dicht bij de waargenomen waarde van $5,0 \text{ m}^3/\text{s}$ (Brauer et al., 2011).

Gesimuleerde afvoer door SPHY in de periode 27-aug-2010 tot en met 7-sep-2010 was gemiddeld $0,572 \text{ m}^3/\text{s}$, wat neerkomt op 91 mm in totaal voor deze 7 dagen. De waargenomen waarde voor dezelfde periode is nagenoeg gelijk en is gerapporteerd op 92 mm (Brauer et al., 2011).



Figuur 10. Uur afvoeren voor 24-aug tot 3-sep 2010 voor het model SPHY.

2.1.7 Conclusies afvoer

Puntsgewijs zijn de volgende uitgangspunten voor wat betreft de SPHY model inzet te noemen:

- SPHY is opgezet als een simpel landelijk dekkend model voor bodemvocht en verdamping dat rekent op dag-basis en is daarom niet het meest geschikte model voor deze studie.
- SPHY is toch ingezet om te kijken of het de extreme afvoerpiek van 2010 kan simuleren.
- SPHY is gebruikt zonder enige specifieke kalibratie voor het betreffende gebied.

Puntsgewijs zijn de volgende conclusies te trekken voor wat betreft de afvoer die berekend zijn met SPHY:



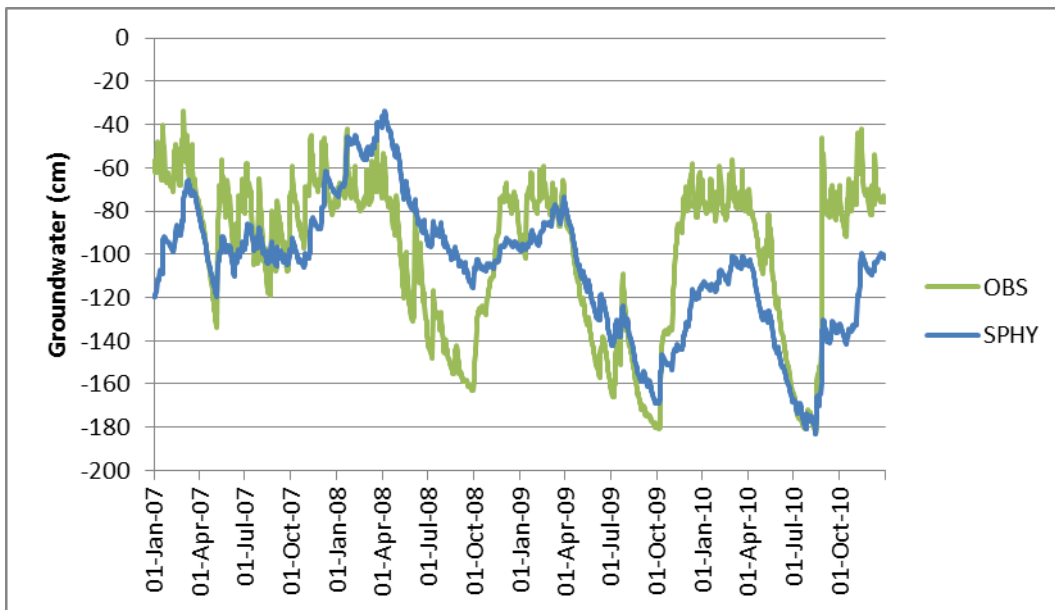
- Maandelijkse afvoeren worden goed berekend met SPHY.
- Dagelijkse piek afvoeren worden onderschat door SPHY.
- Gesampelde uurwaarden worden onderschat door SPHY, maar Pearson (0,60) is nog redelijk.
- De neerslaggebeurtenis van 26/27-aug-2010 lijkt op het eerste gezicht goed door SPHY te worden gesimuleerd.

Samenvattend kan geconcludeerd worden dat ondanks SPHY niet opgezet is voor afvoervoorspellingen het model dit toch redelijk goed doet op vooral maandelijke en matig voor dagelijkse afvoeren. Voor de voorspelling van uurlijkse afvoeren lijkt SPHY minder geschikt. Merkwaardig genoeg lijkt op het eerste gezicht de simulatie van uurwaarden voor het de extreme neerslaggebeurtenis van 26/27-aug-2010 wel redelijk goed te gaan. Dit kan mogelijke verklaard worden doordat SPHY goed de vasthoudcapaciteit van de bodem inschat en bij zulke extreme neerslag de bodem opvult en daarna de overige neerslag afvoert. Met andere woorden Hortonian runoff (beperking infiltratie capaciteit) wordt minder goed gesimuleerd, terwijl Hewlettian runoff (bodem is verzadigd) wel goed wordt gesimuleerd door SPHY.

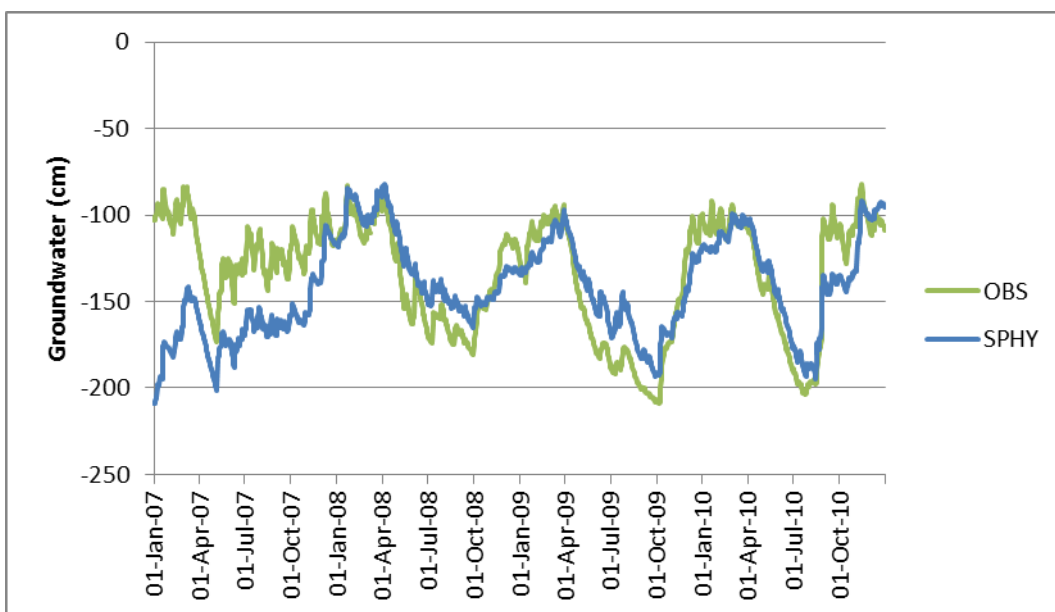
2.2 Grondwaterstanden

SPHY heeft niet als doel om absolute grondwaterstanden te simuleren, maar beschouwt de bodem als een twee lagen systeem met een wortel zone en een diepere zone. Om toch absolute grondwaterstanden te simuleren, kan er geschaald worden naar gemiddelde waargenomen grondwaterstanden.

Dit is gebeurd voor de twee grondwaterstandsbuizen waarvan bij DinoLoket gegevens aanwezig zijn. De resultaten zijn te zien in Figuur 11 en Figuur 12. Het lijkt erop dat de grondwaterstand redelijk kan worden gesimuleerd voor buis B34G0363 en wat minder voor buis B34G0286. Het event van aug-2010 lijkt wat minder goed gesimuleerd te worden. Dit kan mogelijk komen door de aanwezige kunstwerken die het water opstuwen. In werkelijkheid kan het water dus moeilijk weg waardoor de grondwaterstand oploopt. Dit proces detail is niet ingebouwd in SPHY.



Figuur 11. Gemeten en gesimuleerde grondwaterstanden voor buis B34G0286.



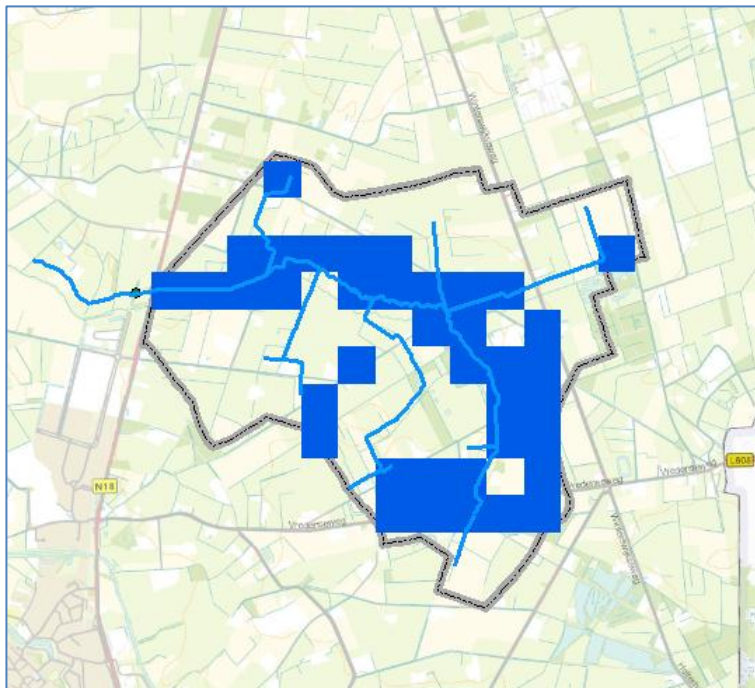
Figuur 12. Gemeten en gesimuleerde grondwaterstanden voor buis B34G0363.

2.3 Inundatie

SPHY berekent niet expliciet inundatie, maar er is van uitgegaan dat als het bodemvocht verzadigd is, er in de betreffende gridcel inundatie optreedt. Zoals eerder aangegeven rekent SPHY op een resolutie van 250 x 250 m en inundatie kaarten kunnen dus ook alleen op deze resolutie worden gegeven. Eventuele verdere downscaling is mogelijk met het AHN (Immerzeel et al., 2011).



In Figuur 13 is het geïnundeerde oppervlakte na het event van 26/27-aug-2010 te zien, zoals berekend met SPHY. In totaal blijkt 41% van de oppervlakte overstromt te zijn aan het eind van 27-aug-2010.



Figuur 13. Geïnundeerd gebied op 27-aug-2012 zoals berekend met SPHY.

3 Conclusies

Voor wat betreft het uitgangspunt van deze studie:

- SPHY is in principe niet het beste model gezien de vraag voor deze “modeling contest”. Er is echter toch gekozen om SPHY te gebruiken om zodoende een indruk te krijgen van de performance van het model.
- SPHY bevat geen kunstwerken (stuwen, duikers etc.) die in werkelijkheid in Hupsel wel voorkomen.
- Resultaten zoals gepresenteerd zijn niet specifiek voor Hupsel gekalibreerd en resultaten zijn direct geknipt uit het landelijke SPHY model.

Voor wat betreft afvoeren:

- SPHY is goed in staat om jaarlijkse en maandelijkse afvoeren te simuleren en minder goed in de simulatie van dag- en uur afvoeren.
- De afvoer van aug-2010 lijkt redelijk goed gesimuleerd te worden door SPHY. Dit is te verklaren uit de zeer extreme situatie waarbij vooral Hewlettian runoff (bodem is verzadigd) het belangrijkste proces is.

Voor wat betreft grondwaterstanden:

- SPHY kan in zekere mate de grondwaterstanden simuleren. Met kalibratie zal mogelijk een enorme verbetering bereikt kunnen worden.

Voor wat betreft inundatie:

- SPHY rekent op 250x250 meter grids en heeft geen specifieke inundatie routine. Aggregeren van verzadigde gridcellen laat zien dat SPHY uitkomt op 41% geïnundeerd gebied voor het event van aug-2010.



4 Referenties

- Brauer C., A. Teuling, A. Overeem, Y. van der Velde, P. Hazenberg, P. Warmerdam en R. Uijlenhoet (2011). Anatomy of extraordinary rainfall and flash flood in a Dutch lowland catchment, *Hydrology and Earth System Science* 15, pag. 1991-2005.
- Droogers, P., A. Van Loon, 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: 1-10.
- Droogers, P., C. Perry. 2008. Scenario Based Water Resources Model to Support Policy Making. World Bank / FutureWater Report 79.
- Droogers, P., Immerzeel, W. W., Terink, W., Hoogeveen, J., Bierkens, M. F. P., van Beek, L. P. H., and Debele, B. 2012. Water resources trends in Middle East and North Africa towards 2050, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 16, 3101-3114, doi:10.5194/hess-16-3101-2012.
- Droogers, P., W.W. Immerzeel. 2010. Wat is het beste model? *H2O Tijdschrift voor watervoorziening en waterbeheer* 2010-4: 38-41.
- Eertwegh G.A.P.H. van den, C.R. Meinardi. 1999. Water and nutrient budgets of the Hupselse beek catchment area. RIVM Report 714901005.
- Immerzeel, W.W, Bierkens, M.F.P., 2010, Asian Water Towers: More on Monsoons-Response. *Science* 330: 585
- Immerzeel, W.W., Beek, L.P.H., Bierkens, M.F.P., 2010, Climate Change Will Affect the Asian Water Towers. *Science* 328: 1382-1385.
- Immerzeel, W.W., H. Goosen, M. de Groot, P. Droogers. 2010. Klimaat Atlas: ontwikkeling wateroverlastkaarten. *H2O Tijdschrift voor watervoorziening en waterbeheer* 2010-10: 33-36.
- Karssenberg, D., Burrough, P.A., Sluiter, R., de Jong, K. 2001, The PCRaster software and course materials for teaching numerical modelling in the environmental sciences. *Transactions in GIS*, 5, pp. 99-110.
- Lutz, A.F., W.W. Immerzeel, P. Droogers. 2012. Climate Change Impacts on the Upstream Water Resources of the Amu and Syr Darya River Basins. Report FutureWater 107.
- Rientjes, T., W.J. Zaadnoordijk. 2000. Hoogwatervoorspelling: Fysisch gebaseerde regenafvoermodellering. *Dilemma of Deja VU?* Stromingen 6, nummer 1, p. 33-44.
- Sivapalan, M. 2009. The secret to “doing better hydrological science”: change the question!, *Hydrol. Process.*, 23, 1391–1396.
- Srinivasan, R., Ramanarayanan, T.S., Arnold, J.G., Bednarz, S.T., 1998. Large area hydrologic modeling and assessment part II: model application. *J. Am. Water Resour. Assoc.* 34, 91–101.
- Terink, W., G. Van den Eertwegh, P. Droogers. 2012. SPHY – Een hydrologisch model voor de landsdekkende berekening van bodemvocht in de wortelzone en de actuele verdamping. *H2O Tijdschrift voor watervoorziening en waterbeheer* 2012 (in press).
- Terink, W., P. Droogers, W.W. Immerzeel, G. Van den Eertwegh. 2012. SPHY – Een hydrologisch model gericht op de berekening van bodemvocht in de wortelzone en de actuele verdamping. Report FutureWater: 115
- Van Mourik, C.C.P., P. Droogers. 1989. Het gekoppelde grond- en oppervlaktewatermodel MOGROW getest op het Hupselse Beek gebied. ICW-nota 1971.

