

# Is onze hydrologie goed genoeg voor extreme omstandigheden?

**Het deelprogramma Rivieren richt zich primair op veiligheid tegen overstromingen op de lange termijn. Daarbij geldt dat het rivierengebied een aantrekkelijk gebied is én moet blijven, om te leven, wonen, werken, recreëren en investeren. In het deelprogramma werken Rijk, provincies, gemeenten en waterschappen samen met maatschappelijke organisaties, bedrijfsleven en kennisinstututen. In het rivierengebied spelen op dit moment diverse gebiedsontwikkelingsprojecten<sup>1)</sup>, zoals Waalweelde en de Maasplassen. Partijen in deze projecten houden nu al rekening met de langetermijnpogave van het Deltaprogramma Rivieren.**

De opdracht van het deelprogramma Rivieren reikt tot het jaar 2100 en houdt rekening met maximale rivierafvoeren van 18.000 kubieke meter per seconde voor de Rijntakken en 4.600 kubieke meter per seconde voor de Maas. Dit is nu respectievelijk 16.000 en 3.800 kubieke meter. Daarnaast houdt het deelprogramma rekening met stijging van de zeespiegel en stijging van het peil in het IJsselmeer.

## Internationale samenwerking en maatgevende hoogwaterstanden

In Nederland worden om de zes jaar de maatgevende hoogwaterstanden vastgesteld. Voor het rivierengebied worden deze gebaseerd op berekeningen met mathematische waterbewegingsmodellen. Voor het bovenrivierengebied wordt daarbij tot nu toe uitgegaan van een afvoer van de Rijn te Lobith (en van de Maas te Eysden), die een overschrijdingsfrequentie heeft van 1/1.250 jaar (de veiligheidsnorm voor dit gebied). De bij deze frequentie horende waarde wordt statistisch bepaald, op basis van de waargenomen afvoeren van de afgelopen 100 jaar (zie afbeelding 1). De op deze wijze verkregen maatgevende afvoer bedraagt voor de Rijn bij Lobith 16.000 kubieke meter per seconde.

De methode is relatief eenvoudig; nieuwe waarnemingen kunnen gemakkelijk worden toegevoegd. De onzekerheid is echter bij kleine overschrijdingsfrequenties, zoals de huidige veiligheidsnorm van 1/1.250, aanzienlijk. Verder is het met deze methode niet mogelijk om de gevolgen van veranderingen in het riviersysteem bovenstrooms van Lobith (en Eysden) of van klimaatverandering te bepalen. Hiervoor zijn in de afgelopen jaren in binnen- en buitenland andere methoden ontwikkeld<sup>2)</sup>.

De onderdelen van die andere methode zijn veelal regionale klimaatmodellen, een neerslaggenerator, neerslag-afvoermodellen en waterbewegingsmodellen. Met de

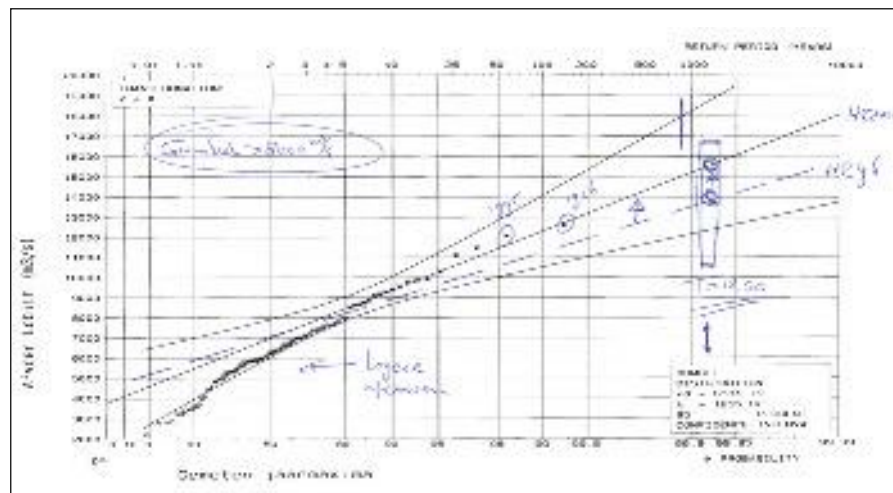
klimaatmodellen kunnen veranderingen in de neerslag worden bepaald. Als je uitgaat van het huidige klimaat zijn uiteraard de klimaatmodellen niet nodig. De neerslag-generator kan lange reeksen genereren. Dit is een groot voordeel ten opzichte van de statistische methode. De neerslag-afvoermodellen zetten de neerslag om in afvoer voor de deelstroomgebieden. Met de waterbewegingsmodellen worden de afvoeren langs de Rijn (en delen van de zijrivieren) berekend. Met deze waterbewegingsmodellen kunnen de effecten van maatregelen in de rivier worden bepaald; ook het effect van het overstroom van dijken kan worden meegenomen. Door de Commissie Hydrologie Rijn, waarin zowel de Rijnoeverstaten als instituten uit die landen zitten, is deze methode toegepast. Ook de Internationale Commissie voor de Rijn paste (delen van) deze methode toe.

De berekeningen die tot nu toe zijn uitgevoerd, laten zien dat de regionale klimaatmodellen een zwakke schakel vormen. Verbetering van deze modellen zou prioriteit moeten hebben.

Als uitgegaan wordt van het huidige klimaat, wijkt het resultaat voor de afvoer bij Lobith weinig af van de uitkomst van de statistische methode, mits er vanuit wordt gegaan dat langs de Rijn geen overstromingen optreden. Uit de gezamenlijk met Nordrhein-Westfalen uitgevoerde studie bleek dat deze langs de Niederrhein bij extreme afvoeren wel zullen optreden. Ook langs de Oberrhein kunnen overstromingen optreden; de invloed hiervan is echter minder dan van overstromingen in Nordrhein-Westfalen.

Gezien het voorgaande dient de vraag zich aan of bij de periodieke herziening van maatgevende hoogwaterstanden de statistische methode moet worden verlaten en moet worden overgestapt op deze nieuwe methode. Het lijkt aantrekkelijk, maar periodiek het hele stroomgebied doorrekenen is heel bewerkelijk, vergt de verzameling van heel veel gegevens en kan niet zonder medewerking van de andere landen. Verder moet beseft worden dat de nieuwe methode ook onzekerheden met zich meebrengt. Uiteraard moet het inzicht, dat door diverse onderzoeken tot nu toe is en nog

Afb. 1: Gumbel-grafiek van extreme afvoeren bij Lobith.



wordt verkregen, wel worden gebruikt bij de vaststelling van de maatgevende afvoer. Dit zal er toe leiden dat er de komende decennia niet veel aanleiding zal zijn om de maatgevende afvoer van de Rijn bij Lobith wezenlijk bij te stellen. Ook niet als de resultaten van de recent door Deltares uitgevoerde kosten-batenanalyse in de beschouwing worden betrokken. Bij extreme afvoeren zullen de overstromingen in Duitsland een dusdanig grote invloed hebben dat de effecten van klimaatverandering de eerste tijd sterk zullen worden gedempt. Ook het lopende dijkversterkingsprogramma in Nordrhein-Westfalen (tot 2020) zal dit niet veranderen; tekenen voor verdere dijkverhoging zijn er op dit moment niet. Als het effect van klimaatverandering verder toeneemt, zal dit uiteindelijk wel merkbaar worden, zeker als men er in Duitsland op gaat reageren met een grootschalige dijkverhoging. Het is dus van belang om de ontwikkelingen te blijven volgen en om opties achter de hand te hebben om hogere afvoeren te kunnen verwerken. De goede contacten die er nu zijn, moeten daarom blijvend worden onderhouden. Tevens dient de actieve betrokkenheid van Nederland in de beide genoemde commissies te worden voortgezet.

Voor de Maas ligt het wellicht wat anders. Onvoldoende is bekend welke invloed overstromingen rond Luik zullen hebben op de extreme afvoeren. Als dit beperkt is, zal het effect van klimaatverandering sneller merkbaar zijn. De vraag is ook hoe het stroomgebied zal reageren op perioden van extreme of langdurige regenval en smeltende sneeuw. Ook hierover bestaat onzekerheid. Onderzoek naar beide aspecten is gewenst.

Zowel voor het Rijn- als het Maasstroomgebied geldt dat voortzetting van de internationale samenwerking geboden is.

**Ton Sprong (voorheen projectdirecteur Ruimte voor de Rivier)**

## Hydrologie goed genoeg voor extreme omstandigheden?

Lange tijd hebben we gedacht dat we de hydrologie van de grote rivieren wel in de vingers hadden. We hebben op basis van een lange observatiereeks een statistische betrekking waarmee we via extrapolatie extreme afvoeren kunnen bepalen (zie afbeelding 1). Met die betrekking kunnen we dijkhoogtes bepalen op deze afvoeren te weerstaan, zelfs met een onwaarschijnlijk kleine faalkans van eens in de 1.250 jaar. Ook hebben we hydrologische modellen waarmee op basis van de regenval die in een stroomgebied wordt waargenomen, de afvoeren bij Lobith en Eysden kunnen voorspellen. Alles leek prima op orde.

Toen kwam de vraag in hoeverre klimaatverandering of verandering in het landgebruik hierop van invloed waren. En daarop moesten de hydrologen het antwoord schuldig blijven. Kwalitatief

konden we er wel iets over zeggen, maar kwantitatief was dat lastig. De statistische reeks is gebaseerd op de aanname dat het stroomgebied en het klimaat onveranderlijk zijn in de tijd. En dat is natuurlijk niet zo. De hydrologische modellen kunnen wel met andere klimaatscenario's worden gevoed, maar hebben nog steeds de aanname dat het stroomgebied onveranderlijk is.

Tegelijkertijd liep de wat meer ingewikkelde discussie in de hydrologie of modellen nu zo gedetailleerd mogelijk moeten zijn (met een gedetailleerd rasterwerk van een paar vierkante meters waarop de behoudswetten worden toegepast) of dat meer geaggregeerde modellen de processen beter beschrijven. Dit is een wat technische discussie. De heersende opinie is nu dat een zekere mate van aggregatie nodig is om processen adequaat te modelleren. Bij het eindeloos opsplitsen gaat patroongedrag verloren dat juist bepalend is voor hydrologische processen. Het nadeel van geaggregeerde (conceptuele) modellen is echter wel dat altijd gecalibreerd moet worden. Ofwel, je moet gegevens uit het verleden hebben om met een model betrouwbare voorspellingen in de toekomst te doen.

Nu, zou u zeggen, die gegevens hebben we wel. De Rijn en Maas worden al vele jaren intensief bemeten, dus gegevens zijn er genoeg. Hydrologen, doe uw werk. Zo eenvoudig is het niet. Een hoogwater van eens in de 1.250 jaar hebben wij nog nooit waargenomen (zie afbeelding 1). Uiteraard wel hoogwaters met een grotere kans van optreden zoals 1993 en 1926. Maar wat hebben we aan die meer gewone kleinere hoogwaters? Zijn de extreme hoogwaters grote broertjes van de kleine of zijn de grote heel andere wezens? Ofwel, zijn extreme hoogwaters gewoon grote kabouters of zijn het reuzen? In de hydrologie zijn we er steeds meer van overtuigd dat de grote hoogwaters tot een andere populatie behoren dan de gewone hoogwaters en dat deze zich fundamenteel anders gedragen. In de statistiek betekent dit dat de waarnemingsreeks niet homogeen is. De grote gebeurtenissen gedragen zich anders dan de rest. We kunnen de statistiek die gebaseerd is op de 'gewone' hoogwaters niet zomaar toepassen op die van de grotere hoogwaters. Bovendien zijn onze meetreeksen niet stationair. Wat betekent dat de omstandigheden tijdens de meetreeksen veranderen, onder andere door verandering van het landgebruik en door klimaatverandering.

De enige manier om hiermee om te gaan is door op fysische principes gestoelde modellen te gebruiken. We kunnen onze bestaande empirische modellen dus niet zomaar gebruiken voor de extremen. Maar hier zit de valkuil. In de afgelopen decennia heeft de roep om fysisch gebaseerde modellen geleid tot steeds fijnschaliger modellen waarbinnen de basisvergelijkingen in steeds meer detail werden opgelost. Dit bleek echter een reductionistische valkuil. Hoe fijnmaziger de modellen waren des te onzekerder werden de

voorspellingen. Het blijkt dat we modellen nodig hebben die de juiste fysische principes hanteren, maar die niet nodeloos complex zijn.

Om te beschrijven dat onze modellen niet voldoen, gebruik ik een andere analogie. In de hydrologie vinden systeemspelingen plaats, zoals een paard van draf in galop gaat. In de hydrologie hebben we volop dravende paarden waargenomen en onze modellen daarop gebaseerd. Heel af en toe zien we een galopperend paard, maar meestal elders in de wereld. Wat wij tot nu toe doen is het dravende paard steeds harder laten lopen door het te voeden met steeds extremere regenval. Maar ergens gaat dat fout. We weten niet wanneer het systeem in galop gaat of hoe het zich dan gedraagt.

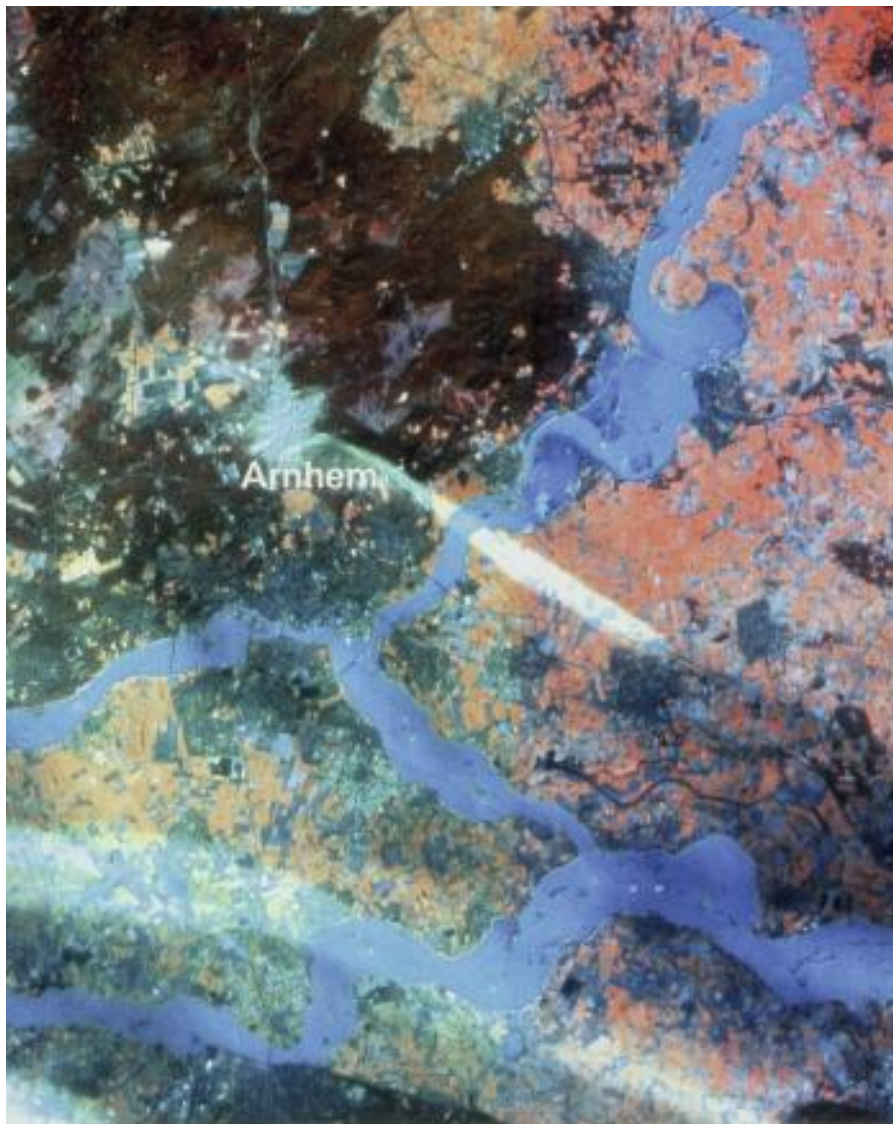
Dit vraagt om veel meer en uitgebreid hydrologisch onderzoek. Uiteraard in de stroomgebieden die op Nederland afwateren maar vooral ook daarbuiten. We kunnen veel leren van extremen die zich elders in de wereld hebben voorgedaan. We moeten kennis verzamelen over 'galopperende paarden' en over hoe en wanneer die optreden. Ook moeten we meer specifieke kennis verzamelen over de eigenschappen van de stroomgebiedjes waaruit ons eigen rivierenstelsel bestaat. Recent onderzoek laat zien dat deelstroomgebieden van de Ardennen, de Eifel en het Zwarte Woud zich heel anders gedragen als functie van geologie, topografie en landgebruik<sup>3,4</sup>. Dit moeten we beter in de vingers krijgen zonder ons te verliezen in overmatige details. En dit moet niet met een enkel complex model dat overal toepasbaar is, maar met een netwerk van eenvoudige specifiek op deze stroomgebieden toegesneden modellen. Maatwerk dus en geen confectiewerk. Hiervoor is een ander modelparadigma nodig, dat ons in staat stelt om modelcomponenten aan elkaar te koppelen.

We hebben hiermee al successen behaald, met name in de Ardennen en in de Eifel, maar er is nog een lange weg te gaan. Dat hoeft overigens geen probleem te zijn. Nederland is niet ineens onveilig. Het is een proces van jaren waarbij we gaandeweg onze kennis vergroten en onze modelcapaciteit verbeteren. Dit laatste is duidelijk een activiteit waarin universiteiten samen met onderzoeksinstellingen moeten optrekken, zodat een gezonde combinatie van fundamenteel en toegepast onderzoek tot stand komt die direct toepasbaar is in producten, zowel voor eigen gebruik in Nederland als in de rest van de wereld.

**Huib Savenije (TU Delft Civiele Techniek en Aardwetenschappen)**

## Maatgevende afvoeren tussen wetenschap en beleid

Vanuit het Deltadeelprogramma Rivieren snijden beide bijdragen een belangrijk thema aan: onze afhankelijkheid van goede voorspellende modellen, zowel voor de effecten van klimaatverandering op de



Satellietopname van hoogwatergebied rondom Arnhem 1993.

gewone hoogwaters als waar het gaat om het voorbereid zijn op extreme omstandigheden. Uit de bijdrage van Huub Savenije wordt duidelijk dat extremen van een andere soort kunnen zijn dan 'gewoon' hoog water. De vraag is hoe je je daar met (beleids)maatregelen toch zo goed mogelijk op kan voorbereiden.

De algemene vraag is hoe we in het kader van het Deltaprogramma omgaan met nieuwe inzichten in maatgevend hoogwater. Voor ons is van belang dat we gebruik maken van de best beschikbare kennis bij het zoeken naar oplossingen voor de opgave als gevolg van klimaatverandering, dat we toekomstgericht zijn (omgaan met onzekerheid maar deze wel zover mogelijk reduceren) en dat de modellen gevalideerd zijn en een zo groot mogelijk voorspellend vermogen hebben maar ook flexibel en niet te complex zijn.

De aanleiding voor het Deltaprogramma ligt in de verwachte klimaatverandering die zou kunnen leiden tot een verhoogde afvoer van de grote rivieren en een verhoogde zeespiegel. Dat de zeespiegel stijgt, meten we al tientallen jaren. Een verhoogde afvoer meten is veel moeilijker, omdat het hier gaat om gebeurtenissen die maar zelden

optreden. Toch moeten we iets zeggen over afvoeren die gemiddeld maar eens in de 1.250 jaar voorkomen, omdat dat het beschermingsniveau is dat we minimaal zouden moeten hebben in het rivierengebied. De methode die we nu gebruiken, de statistische analyse van historische afvoeren, heeft als nadeel dat we nog maar relatief kort meten (110 jaar) en dat we uitspraken willen doen over afvoeren van eens in de 1.250 jaar. Dat gaat ontegenzeggelijk gepaard met grote onzekerheden, zoals Ton Sprong terecht opmerkt. Toch is dit de best beschikbare kennis op dit moment. Maar voor ons belangrijker is dat de andere methode (neerslag-afvoermodellering) nog niet volledig uitontwikkeld is om gebruikt te worden in de praktijk.

De traditionele methode heeft geleid tot de huidige maatgevende afvoer van 16.000 kubieke meter per seconde. Voor het Deltaprogramma is het uitgangspunt een langetermijnafvoer van 18.000 kubieke meter per seconde in 2100. Dit uitgangspunt is gekozen op basis van modelberekeningen en observaties over de toestand in Duitsland.

Voor het Deltaprogramma is van belang dat met neerslag-afvoermodellering de klimaatinvloeden en de veranderingen in geometrie in het stroomgebied beter in

beeld kunnen worden gebracht. Bovendien kan de statistische onzekerheid door het gebruik van lange (geconstrueerde) reeksen aanzienlijk verkleind worden. Maar ook worden door het gebruik van een modellen-trein weer nieuwe onzekerheden geïntro-duceerd.

De ontwikkelingen in Duitsland zijn hierbij erg belangrijk. Het zou best kunnen dat Duitsland noodmaatregelen gaat treffen op het moment dat overstromingen dreigen of structurele maatregelen nadat overstro-mingen optreden. Dat leidt dan tot hogere afvoeren bij Lobith. Ton Sprong merkt terecht op dat de samenwerking met Duitsland (maar ook met België voor de Maas) onontbeerlijk is. Daarbij speelt de Interna-tionale Commissie voor de Rijn en de daaraan gelieerde onderzoekscommissies een belangrijke rol.

Huib Savenije introduceert het gezichtspunt dat de neerslag-afvoermodellering als zodanig nog aanzienlijke verbetering behoeft. Het idee hierachter is dat het systeem bij zeer grote afvoeren, anders reageert dan bij 'normale' afvoeren. In wiskundige zin zou je dan kunnen denken aan een bifurcatie: een systeemverandering wanneer een bepaalde controleparameter (bijvoorbeeld de afvoer) over een grenswaarde gaat. Vanuit het Deltadeel-programma Rivieren bestaat, kijkend naar het fysische systeem, behoefte aan meer onderbouwing, bijvoorbeeld om te onderzoeken waar het verschil tussen grote en kleine stroomgebieden ligt. Daarnaast zou het goed kunnen zijn dat verbetering van de neerslag-afvoermodellering ertoe kan leiden dat (door nu nog onbekende mechanismen) meer (of minder) piekafvoeren gaan voorkomen dan nu gedacht. En dat beïnvloedt dan weer de statistiek, waardoor andere inzichten met betrekking tot de maximale afvoer kunnen ontstaan. Dit vraagt fundamenteel onderzoek passend bij de langetermijndoelstelling van het Delta-programma: het probleem is niet acuut maar wel urgent (in de woorden van Cees Veerman) en we hebben de tijd om deze fundamentele zaken goed uit te zoeken. De onlangs tot stand gekomen Topsector Water zoekt ook samenwerking met het Delta-programma en dit zou één van de onderwerpen kunnen zijn om gezamenlijk met de relevante kennisinstututen op te pakken.

Dit onderwerp (het bepalen van de maatgevende afvoer) raakt aan een groter onderwerp: hoe ga je in het algemeen om met onzekerheden? Naast de maatgevende afvoer kan gedacht worden aan de verdeling van de afvoer over de splitsingspunten, de hydrologische modellering van het stroom-gebied (zie ook de bijdrage van Huub Savenije), de invloed van vegetatie op waterstanden, enzovoort. Er wordt veel onderzoek gedaan naar het identificeren van de grootste onzekerheidsbronnen en vervolgens aan het verkleinen van de invloed, vaak door modelaanpassingen. Adaptief deltamanagement kiest een andere weg voor het omgaan met onzekerheden door deze niet te reduceren maar ten volle te

laten doorwerken bij het ontwikkelen van robuust beleid. Adaptief deltamanagement probeert zoveel mogelijk een keuze te maken voor een oplossing die robuust genoeg is om de onzekere toekomst (zeker als die pas in 2100 ligt!) te kunnen accommoderen. Niet alleen meer of minder klimaatverandering bepaalt die toekomst, maar ook de verschillende sociaal-economische scenario's zijn daarop van invloed. De methoden hiervoor zijn veel minder ver ontwikkeld dan de methoden voor het bepalen van maatgevende afvoeren, maar wel veel belovend. Beide sporen zijn van groot belang voor het Deltaprogramma en worden naast elkaar bewandeld.

Tenslotte: wetenschappelijke onderbouwing is van groot belang voor het nemen van de

goede beleidsmatige beslissingen, maar niet de enige factor van belang. In het Deltaprogramma spelen maatschappelijke afwegingen in brede zin een net zo belangrijke rol. Zoals de Commissie Veerman het al in haar rapport formuleerde: voor goede politieke keuzen zijn visie én calculaties nodig.

**Lilian van den Aarsen (directeur  
deelprogramma Rivieren)**  
**Ralph Schielen (deelprogramma Rivieren)**

#### LITERATUUR

- 1) Deltaprogramma Rivieren (2011). Opgaven en werkproces, stand van zaken 2011 - DP2012.
- 2) Te Linde A. (2011). Rhine at risk?: Impact of climate change on low-probability floods in the Rhine basin and the effectiveness of flood management

measures. Doctoral thesis Vrije Universiteit Amsterdam.

- 3) Gharari S., M. Hrachowitz, F. Fenicia en H. Savenije (2011). Hydrological landscape classification: investigating the performance of HAND based landscape classifications in a central European meso-scale catchment. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 15, pag. 3275-3291.
- 4) Giustarini L., P. Matgen, R. Hostache, M. Montanari, D. Plaza, V. Pauwels, G. de Lannoy, R. de Keyser, L. Pfister, L. Hoffmann en H. Savenije (2011). Assimilating SAR-derived water level data into a hydraulic model: a case study. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 15, pag. 2349-2365.

**Kerk bij Asselt tijdens extreem hoogwater in 1995.**

