

Geografische kennis kan mensenlevens redden. De KNAG Onderwijsdag op 7 december gaat over het gebruik van ruimtelijke informatie bij risicobeheersing en rampenbestrijding. Steven de Jong bijt in deze *Geografie* het spits af met een bijdrage over aardobservatie en ruimtelijk dynamisch modelleren om de overstroming van rivieren te voorspellen.



# Satellieten helpen overstromingen te voorspellen

**H**et lijkt wel of Europa steeds vaker te maken heeft met overstromingen. De afgelopen tien jaar was het raak bij de Oder (1997, 2010), Donau (2002, 2005, 2006, 2010), Elbe (2002, 2006, 2011), Maas (1993, 1995), Rijn (1993, 1995), Po (2000), Rhône en ook kleinere rivieren zoals de Britse Severn, de Italiaanse Toce, de Franse Var en Ouvèze. Ze veroorzaakten stuk voor stuk overstromingen en modderstromen met veel emotionele, materiële en economische schade. In Nederland ging het mis in 1993 en 1995, toen de Maas de dorpen Borgharen en Itteren blank zette.

De enorme overstromingen van de Elbe en de Donau in 2002 brachten de Europese Commissie tot actie. Ze besloot in 2003 een *early-warnings* systeem voor overstromingen te laten ontwikkelen. De opdracht ging naar het Joint Research Centre in Ispra, Italië. Aangezien overstromingen een typisch grensoverschrijdend probleem zijn, ligt het voor de hand dit op Europees niveau bij de kop te pakken. Het initiatief van de EC heet EFAS:

European Flood Alert System. Het is bedoeld om extreme hoogwatersituaties tussen de drie en tien dagen vooruit te voorspellen zodat er tijdig maatregelen genomen kunnen worden. Evacuaties kunnen bijvoorbeeld veel levens redden. Vee kan naar elders vervoerd worden. Bufferbassins kunnen opengaan om de waterstand te reguleren. Auto's en landbouwmachines kunnen verplaatst worden en winkels ontruimd, en bewoners kunnen hun elektronica naar de bovenverdieping brengen.

## Model

EFAS doet zijn overstromingsvoorspellingen aan de hand van een GIS-gebaseerd hydro-

logisch model, ontwikkeld aan de Universiteit Utrecht: LISFLOOD. Het model simuleert de hydrologische processen in de stroomgebieden van de grote Europese rivieren. LISFLOOD maakt gebruik van een grote database met onder andere gegevens over de topografie, het rivierennetwerk, landgebruik en de bodem. De sturende variabelen van het model zijn neerslag (hoeveelheid en intensiteit), verdamping en temperatuur. Metingen worden direct vanuit tientallen meteorologische stations in *real-time* verzameld. Ze vormen de basis voor de overstromingsvoorspellingen. Op grond van deze gegevens en weersvoorzichten voorspelt het model hydrologische processen zoals de oppervlakkige afstroming van regen (*runoff*), verdamping, opvang van neerslag, infiltratie in de bodem en het belangrijkste: de waterhoogte in de rivieren benedenstrooms. Figuur 1 toont hoe de waterbalans berekend wordt. Het model simuleert feitelijk de voortplanting van de hoogwatergolf naar beneden toe in het stroomgebied van de rivier. Figuur 2

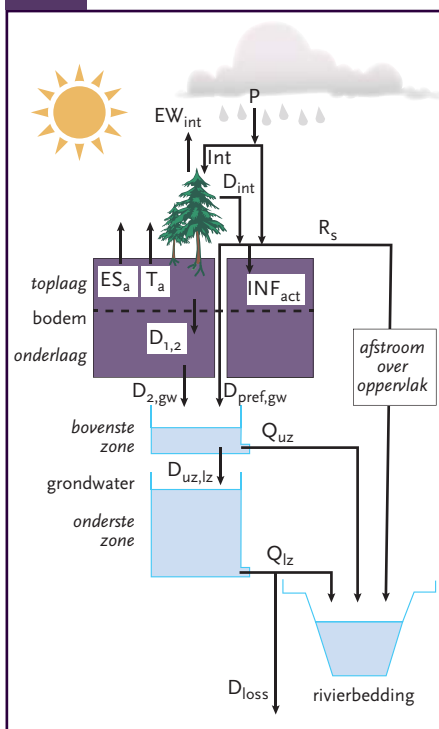
EFAS voorspelt extreme hoogwatersituaties in Europa drie à tien dagen vooruit



Hoogwater in de Elbe in 2011 zette het Saksische Pirna onder water.

FOTO: NORBERT KAISER

**Figuur 1:** Stroomdiagram van het LISFLOOD-overstromingsmodel



Het GIS-gebaseerde model simuleert de waterbalans en berekent de waterhoogte benedenstrooms.

toont de modelvoorspellingen van LISFLOOD op het computerscherm. We zien hier de hoogwatervoorspellingen van 11 mei 2010. Op die datum werd in diverse Oost-Europese landen zoals Polen, Tsjechië, Duitsland en Hongarije hoogwater voorspeld (blauwe vlakken). De rode stippen geven plekken in de rivier aan waar het kritische niveau van het water volgens de modelberekeningen mogelijk overschreden zou worden en waar maatregelen nodig waren.

Het model is sinds 2003 operationeel en heeft inmiddels veel overstromingen in een vroeg stadium aangekondigd en daarmee mensenlevens gered. Zo konden met EFAS

vroegtijdig waarschuwingen worden gegeven voor overstromingen in Zuid-Duitsland (augustus 2005), een overstroming door smeltende sneeuw in de Elbe en Donau (maart/april 2006) en wijd verspreide overstromingen in mei 2010 in Oost-Europa (Polen, Slowakije, Hongarije, Roemenië).

### Sneeuwsmelt

Hoe succesvol ook, de voorspellingen kunnen altijd beter en daar wordt hard aan gewerkt.

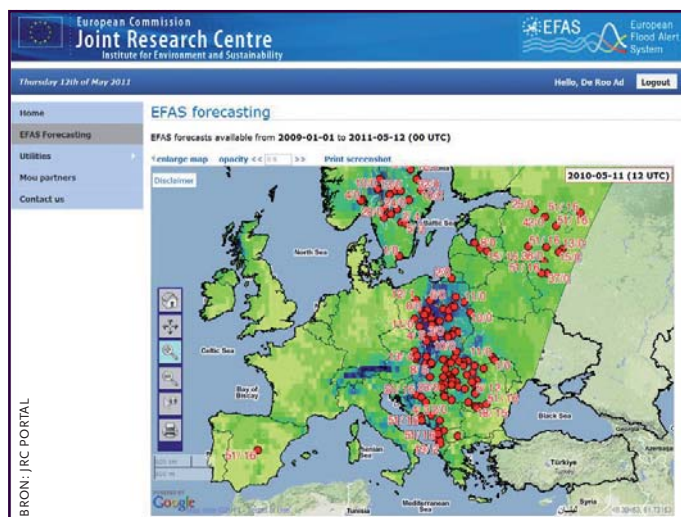
EFAS is niet bedoeld om centimeter nauwkeurige waterstanden te voorspellen. Dat kunnen de EU-lidstaten veel beter zelf. Het gaat erom in een vroeg stadium, drie tot tien dagen vooruit, te voorspellen of ergens in Europa een zware of middelgrote overstroming kan gaan optreden. Die voorspelling is complementair aan wat lidstaten zelf doorrekenen.

Hoogwatersituaties veroorzaakt door grote hoeveelheden neerslag in grote stroomgebieden worden over het algemeen al goed voorspeld. Het blijkt moeilijker om nauwkeurige voorspellingen te doen als plotselinge sneeuwsmelt in de bergen een rol speelt in de aanvoer van water naar de grote rivieren. Het voorspellen van overstromingen van kleinere rivieren in berggebieden waar *flash floods* optreden, zoals in Frankrijk bij Draguignan in 2010, bij Quissac in 2003 en bij Vaison-La-Romaine in 1992, zijn lastig. Dit komt door de snelle *respons*tijd van het stroomgebied (de tijd die het water nodig heeft om benedenstrooms te komen). Daardoor wordt het regenwater van vaak korte maar zeer hevige buien zeer snel naar beneden afgevoerd. Dit soort processen zijn moeilijk te simuleren en te voorspellen. Bij rivieren als de Rijn, Maas en Donau, waar de stroomgebieden groot zijn en de reactietijd lang is, voorspelt LISFLOOD de hoogwatercondities over het algemeen zeer goed.

Dit soort complexe simulatie- en voorspellingsmodellen heeft altijd tekortkomingen en zwakke punten. Zo zijn er nog te weinig gegevens beschikbaar over de werkelijke gevallen neerslag, vooral in berggebieden. Ook de hoeveelheden sneeuw in de winter, relevant om te berekenen hoe groot de kans is op een sneeuwsmeltoverstroming, zijn nog niet goed bekend. In beide gevallen kunnen satellietdata helpen en daar wordt dan ook onderzoek naar gedaan.

**Figuur 2**

De interface van het EFAS-model voorspelt dat er op 11 mei 2010 in diverse Oost-Europese landen hoogwater zal optreden (blauwe vlakken). De rode stippen geven plekken in de rivier aan waar het kritische niveau van het water mogelijk overschreden wordt.



BRON: JRC PORTAL

Artist impression van de ESA SMOS-satelliet in de ruimte. SMOS levert dagelijks beelden van de bodemwatertoestand.

Een ander verbeterpunt in het voorspellingsmodel is het onderdeel dat de hoeveelheid vocht in de bodemlagen simuleert. Als er geen water is opgeslagen in de bodem, zal er regenwater kunnen infiltreren en niet oppervlakkig afstromen naar beken en rivieren. De bodem werkt dan als een waterbuffer en de kans op hoogwater benedenstrooms en overstromingen is veel kleiner. Het maakt bijvoorbeeld een groot verschil of er een hevige regenbui valt aan het eind van de winter wanneer de bodem vol water zit of dat diezelfde bui valt aan het eind van de zomer wanneer de bodem nog veel water kan opslaan en dus de piekafvoer benedenstrooms veel lager zal zijn. In het huidige model berekenen we de hoeveelheid bodemvocht op basis van de gemeten neerslag en temperatuur en de berekende verdamping, zonder dat we gegevens uit het veld hebben over bodemvocht.

#### Satellietgegevens

De nieuwe generatie satellieten kan ons helpen schatten hoeveel water er in de bodem zit in grote stroomgebieden zoals die van de Rijn, Donau en Elbe. De geavanceerde satellieten hebben sensoren aan boord die radargolven waarnemen – radargolven zijn heel lang vergeleken met die van zichtbaar licht, variërend van 0,5 tot 75 centimeter. Satellieten voorzien van deze techniek zijn bijvoorbeeld de SMOS van ESA (het Europees Ruimtevaart Agentschap) en ASCAT van EUMETSAT (de Europese meteorologische dienst).

SMOS werd in 2009 gelanceerd en de afkorting SMOS staat voor Soil Moisture and Ocean Salinity. SMOS heeft het radarinstrument MIRAS aan boord, dat de door de aarde uitgezonden radargolven registreert met een golflengte van 23 centimeter (L-band). ASCAT staat voor Advanced Scatterometer en werkt omgekeerd: het is een systeem dat radargolven naar de aarde stuurt met een golflengte van 5 centimeter (C-band) en de reflectie vanaf de aarde registreert (kader). De ruimtelijke resolutie (pixelgrootte) van deze sensoren is beperkt. SMOS geeft in één pixel informatie voor een gebied van 35 bij 35, tot 50 bij 50 kilometer, afhankelijk van de kijkhoek. ASCAT heeft pixels van ongeveer 25 bij 25 kilometer. Ter vergelijking: Landsat TM geeft in één pixel informatie over een gebied van 30 bij 30 meter.

SMOS en ASCAT leveren ons wel dagelijkse beelden van het bodemvocht en die zijn bij-



zonder welkom voor hydrologische monitoring ten behoeve van overstromingen. Door de minimale en maximale radarsignalen in de beelden over langere tijd te analyseren, weten we welk radarsignaal hoort bij een bodem verzadigd met water en welk radarsignaal bij een kurkdroge bodem. De variatie in tijdseries van radarbeelden worden vertaald naar bodemwatergehalte. Deze informatie wordt op dit moment al gebruikt bij het maken van weersvoorspellingen en het bestuderen van droogteperiodes.

Utrechtse onderzoekers zijn nu aan het testen of deze satellietgegevens het EFAS-systeem kunnen verbeteren om overstromingen nog nauwkeuriger en eerder te kunnen voorspellen. De LISFLOOD-voorspellingen zijn nu nog volledig gebaseerd op meetgegevens die in real-time zijn opgehaald bij de

meteorologische stations en afvoermeetstations verspreid over Europa. Als straks ook de bodemvochtradarbeelden gebruikt kunnen worden, ontstaat een gebiedsdekkend beeld van de bodemwaterstatus. Die informatie helpt om de meting van de waterbalans in de stroomgebieden van de rivieren te verfijnen en de overstromingsvoorspellingen nauwkeuriger te maken. •

#### Meer informatie:

- Europees overstromingswaarschuwingproject EFAS: <http://efas-is.jrc.ec.europa.eu/>
- ESA SMOS-satelliet: [www.esa.int/SPECIALS/smos/](http://www.esa.int/SPECIALS/smos/)
- EUMETSAT ASCAT-satelliet: [www.eumetsat.int/Home/Main/Satellites/Metop/index.html?l=en](http://www.eumetsat.int/Home/Main/Satellites/Metop/index.html?l=en)
- Radar remote sensing en bodemvochtonderzoek Technische Universiteit Wenen: [www.ipf.tuwien.ac.at/radar/](http://www.ipf.tuwien.ac.at/radar/)

## Radars remote sensing en bodemvocht

**R**adars remote sensing maakt gebruik van lange golflengten van 0,5 tot 75 centimeter. Radar remote sensingsystemen kunnen zowel passief als actief zijn. Passieve systemen zoals MIRAS meten de door de aarde uitgezonden radargolven. De hoeveelheid door de aarde uitgezonden straling in het radargebied is echter zeer klein, dus we moeten zeer gevoelige instrumenten gebruiken en grote gebieden waarnemen en dat levert grote pixels ofwel een lage ruimtelijke resolutie op. Actieve radarsystemen zoals ASCAT sturen zelf radarsignalen naar het aardoppervlak en meten de reflectie daarvan. De pixels van deze actieve systemen zijn kleiner. De reden dat we bodemvocht kunnen karteren

in het radargolfg gebied is omdat vocht in de bodem een grote invloed heeft op de elektrische geleidingseigenschappen van de bodem, de zogeheten diëlektrische constante. De diëlektrische constante van een droge bodem heeft een waarde van ongeveer 3,0 terwijl die van water rond de 80 ligt. Water in de bodem versterkt door zijn sterke geleidingseigenschappen enorm de reflectie van radargolven en het passief uitstralen van radargolven door de aarde zelf. Vochtige gebieden verschijnen dan als lichte vlekken in de radarsatellietbeelden. Het waargenomen radarsignaal wordt ook beïnvloed door vegetatie en ruwheid van het oppervlak, maar toch zijn we in staat bodemvocht vanuit de ruimte in kaart te brengen met deze radarsystemen.