



Sander Loos, HydroLogic

Henk van Norel, Waterschap Hunze en Aa's

Jacques Esenbrink, Waterschap Reest en Wieden

Arnold Lobbrecht, HydroLogic

Nieuwe beslissings- ondersteunende systemen voor het operationele waterbeheer

De toename van het aantal extreme weersituaties, in combinatie met de beperkte capaciteit van watersystemen, stelt steeds hogere eisen aan het operationele waterbeheer. Verscheidene waterschappen gebruiken daarom operationele beslissingsondersteunende systemen (BOS) die hen helpen met het dagelijkse peilbeheer en het waterbeheer in crisissituaties met wateroverlast of droogte. Deze systemen zijn gebaseerd op gedetailleerde hydrologische en hydrodynamische modellen, die worden gevoed met hoogfrequente en kwalitatief hoogwaardige meteorologische gegevens en weersverwachtingen. Dit artikel toont de nieuwste ontwikkelingen op het gebied van weerinformatie en BOS, introduceert een modulair platform voor die systemen en geeft de succesfactoren voor invoering van een BOS in een organisatie van waterbeheerders.

De hevige neerslag van de afgelopen jaren en de wateroverlast die daaruit volgde, heeft laten zien dat de beschikbare ruimte in watersystemen beperkt is en dat overlast onder de huidige omstandigheden vaak niet is te voorkomen. Omdat sprake is van een neerslagafvoerproces dat zich snel voltrekt (enkele uren tot dagen), is het van belang dat snel duidelijk is hoe en wanneer beschikbare operationele maatregelen effectief kunnen worden ingezet.

Steeds meer waterschappen geven hoge prioriteit aan het optimaliseren van het operationele waterbeheer ten tijde van extreme situaties met behulp van een beslissingsondersteunend systeem. Deze worden ingezet als waarschuwingssysteem om een extreme situatie (hoogwater, extreme droogte) tijdig te zien aankomen. Gedurende de extreme situatie wordt het BOS gebruikt om diverse strategieën, zoals maalstops en de inzet van bergingsgebieden, vlot door te rekenen en af te wegen op basis van effectiviteit.

Een operationeel BOS kan tevens worden ingezet in het dagelijkse peilbeheer, om bijvoorbeeld regelbare kunstwerken optimaal te benutten. Optimalisaties in het gebruik van de beschikbare capaciteit, energie en de daarbij behorende kosten, kunnen tot aanzienlijke kostenbesparingen leiden¹⁾.

Het BOS ondersteunt waterbeheerders in complexe beslisprocessen, zowel onder reguliere omstandigheden als tijdens acute crisissituaties. Het systeem dient op transparante, reproduceerbare en uniforme wijze diverse strategieën en weersscenario's door te rekenen en de uitkomsten inzichtelijk te maken. Bij de inzet van operationele maatregelen, bijvoorbeeld de inzet van een bergingsgebied, speelt het tijdsaspect een belangrijke rol: een te vroege inzet kan betekenen dat de maatregel geen effect heeft en later niet meer kan worden gebruikt. Te laat inzetten betekent onnodige wateroverlast en schade. Het gaat bij een BOS juist om de planning van de informatievoorziening, het beslisproces en het effectueren van maatregelen²⁾. Daarom is het essentieel dat het instrument te allen tijde direct gereed is voor gebruik, bedrijfszeker werkt, de benodigde antwoorden snel genereert en de resultaten op communicatief sterke wijze weergeeft.

Systematiek

Het is de verwachting dat alle waterschappen binnen enkele jaren overgaan tot de invoering van een BOS, waarbij de geboden functionaliteit dient te worden afgestemd op het beheergebied en de gebruikers. De toenemende economische en maatschappelijke belangen bij accuraat waterbeheer dwingen waterschappen alle binnen hun

mogelijkheid liggende kennis en technieken in te zetten bij het uitvoeren van de waterbeheerstaak. Daarom is een systematiek ontwikkeld die waterbeheerders voorziet van weerkundige en waterhuishoudkundige informatie: HydroNET. Doel hiervan is het ondersteunen van watermanagers en hydrologen bij het efficiënt uitvoeren van hun operationele taak. Momenteel gebruiken tien waterschappen de systematiek.

Operationele BOS-systemen die gebaseerd zijn op HydroNET, maken gebruik van actueel gemeten hydrologische invoergegevens, zoals van met telemetriesystemen gemeten waterstanden en stuwstanden. Daarnaast worden de systemen gevoed met actuele meteorologische informatie, zoals neerslag, wind en een weersverwachting voor de korte tot middenlange termijn.

De voornaamste bron voor actuele meteorologische informatie voor landelijk en stedelijk waterbeheer is het KNMI^{3,4)}. De gegevensset die het KNMI operationeel beschikbaar heeft, is zeer compleet voor dit doel en ook de snelheid van levering en de leveringszekerheid zijn zeer groot. Van het KNMI worden gebruikt⁵⁾:

- de gebiedsdekkende radarneerslag: gekalibreerde drie-uurlijkse neerslag-sommen, geleverd per uur. De vlakdekkende neerslag wordt voorbereid met

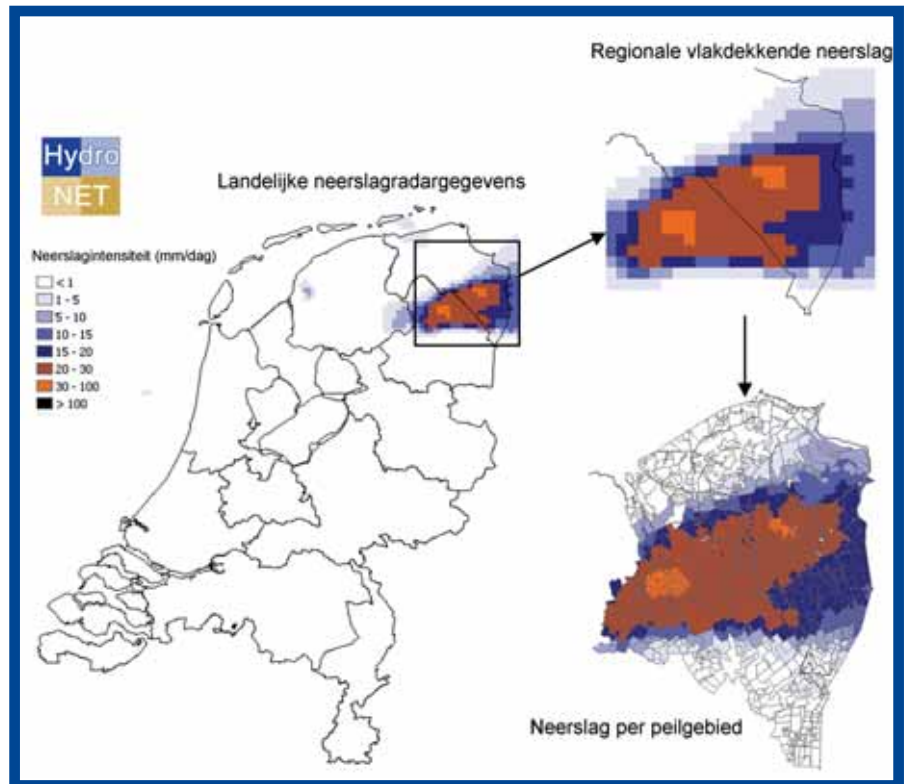
een GIS-programma waardoor gewerkt kan worden met gebiedsneerslag per peilgebied, deelstroomgebied of afvoergebied (zie afbeelding 1);

- de waarnemingen van automatische weerstations (ruim 40 in Nederland), geleverd per uur. Per station worden diverse variabelen gemeten, waaronder windkracht en richting, neerslag en temperatuur;
- de dagelijkse referentiegewasverdamingsgegevens, geleverd per dag;
- de verwachtingsgegevens van het Europese ensemble prediction system (EPS) van onder andere neerslag, windkracht en richting, tot 15 dagen vooruit, tweemaal per dag geleverd. Door te werken met kansklassen wordt ook een onzekerheidsband van de voorspelde resultaten beschikbaar gemaakt. Zo wordt een onzekerheid in de neerslagverwachting vertaald naar een onzekerheid van bijvoorbeeld een waterstandsvoorspelling of een afvoersvoorspelling^(6),7);
- de uurlijkse weersverwachting van het high resolution limited area model (Hirlam), waaronder neerslag en wind, op hoge ruimtelijke resolutie, viermaal per dag geleverd. Ook op deze gegevens kan een vertaling naar afvoergebied worden uitgevoerd, waardoor de kwaliteit van de waterstandsverwachtingen verder toeneemt.

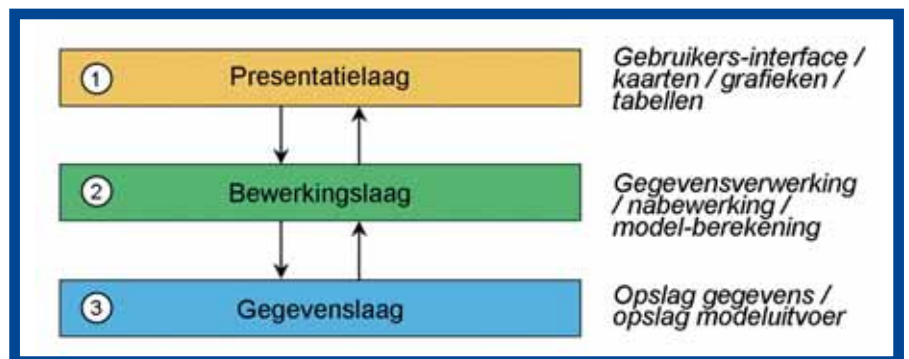
Het beslissingsondersteunend systeem is gebaseerd op drie lagen (zie afbeelding 2): de informatie presenteren voor visualisatie, rapportage (tabellen, grafieken, kaarten, tekst), analyse, aansturing en communicatie; de gegevens gebruiken, voorbereiden, rekenen met één of meer modellen en nabewerken tot informatie voor de presentatielaag en tenslotte de gegevens vergaren, opslaan en het beschikbaar stellen van relevante gegevens aan de andere lagen.

Vanuit de gegevenslaag worden benodigde gegevens automatisch en met een instelbare frequentie (tot eens per uur) volledig geautomatiseerd aangeboden aan de bewerkingslaag. In deze laag start een berekening om waterstandsverwachtingen voor de komende dagen te bepalen. In de bewerkingslaag van het BOS kunnen in principe alle hydrologische en hydrodynamische modelinstrumentaria worden toegepast die in het Nederlandse waterbeheer worden gebruikt. Voorbeelden van veel gebruikte toegepaste instrumentaria zijn Sobek en AQUARIUS. Na beëindiging van de berekeningen worden gegevens nabewerkt voor de presentatie. In deze nabewerking worden toetsingen van verwachte waterstanden uitgevoerd (bijvoorbeeld: ten opzichte van kadehoogten), bergingsruimte in grond- of oppervlaktewater berekend of schade berekend en inundatiekaarten gemaakt.

De kracht van een BOS ligt in het gemak waarmee de gebruiker simulatiegegevens en nabewerkte gegevens kan visualiseren, waarbij hij/zij moet kunnen kiezen tussen diverse vormen van presentatie (kaarten, grafieken, tabellen, etc.). Gebruiksgemak is tevens van groot belang in crisissituaties,



Afb. 1: Gekalibreerde neerslagradargegevens van het KNMI voor het beheergebied van Waterschap Hunze en Aa's worden automatisch omgezet naar geografische informatie. Per rekentijdstap wordt vervolgens de neerslag per afvoergebied bepaald.



Afb. 2: De drie lagen waarop het BOS-platform is gebaseerd.

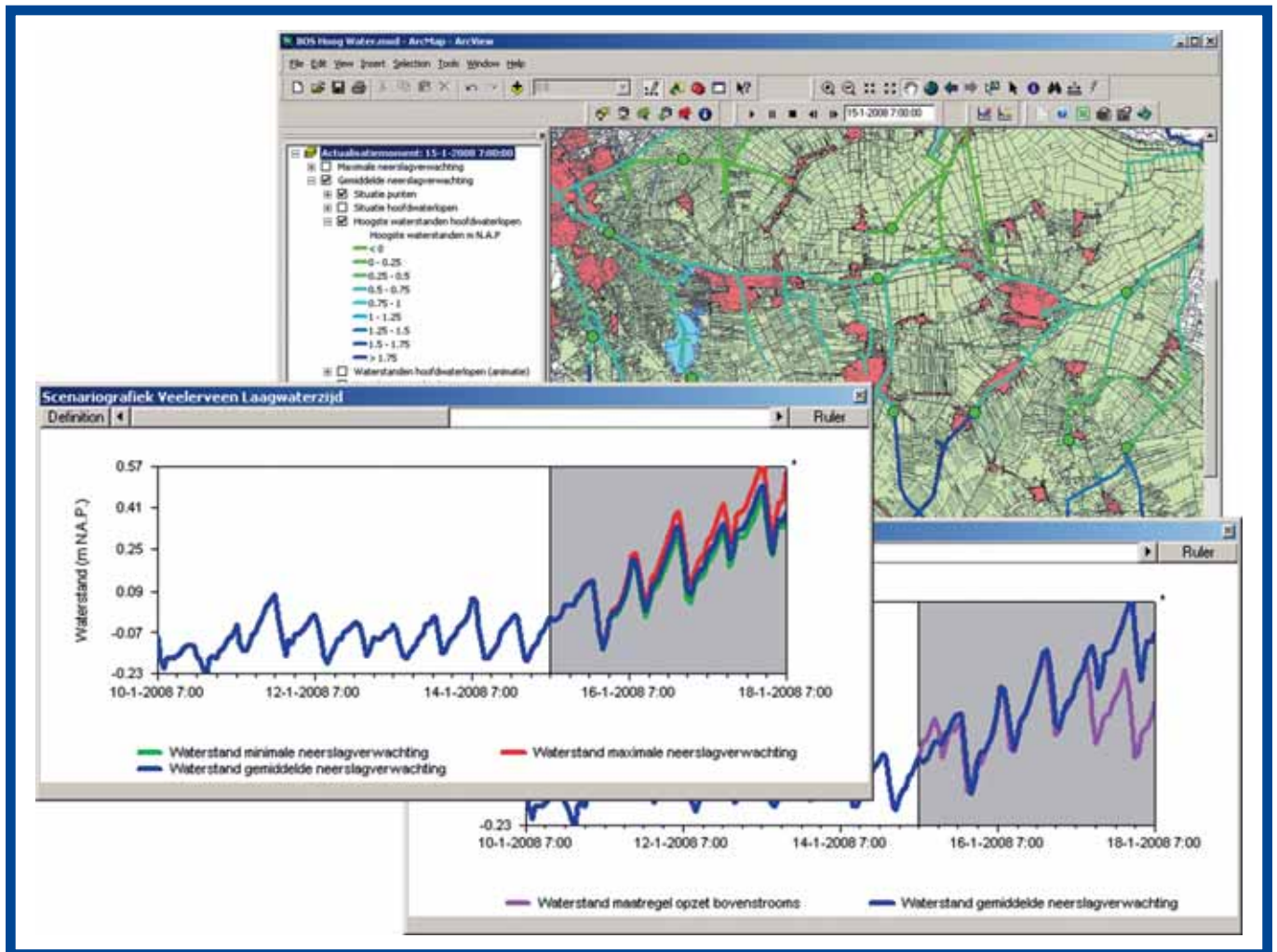
waarbij beheerders en specialisten onder grote druk moeten werken.

In het BOS wordt gewerkt met scenario- en strategieberekeningen. Scenarioberekeningen gaan uit van variaties in de voor de waterbeheerder oncontroleerbare randvoorwaarden, zoals buitenwaterstanden of de neerslag (bijvoorbeeld: minimum-, gemiddelde en maximale neerslagverwachting). Deze berekeningen geven de situatie weer indien de waterbeheerder niet ingrijpt. Een strategieberekening is een berekening waarin één of meer beheermaatregelen worden ingezet (bijvoorbeeld: voormalen of het optrekken van een stuw). Met deze werkwijze is het mogelijk om de effectiviteit van de inzet van beheermaatregelen (een strategie) door te rekenen onder verschillende randvoorwaarden (scenario's).

Voor de aansturing van het systeem zijn in de presentatielaag van het BOS intuïtief te bedienen schermen opgenomen, waarmee de gebruiker (maatregel)berekeningen kan

uitvoeren. Voor de analyse van resultaten is in het platform een compleet pakket van rapportage- en GIS georiënteerde presentatiefuncties beschikbaar, geïntegreerd in ArcGIS. Van diverse berekende gegevens worden GIS-kaarten gemaakt, waarbij onderscheid wordt gemaakt in statische en dynamische kaarten. Statische kaarten geven bijvoorbeeld een maximum behaalde waterstand per peilgebied of waterloop over een bepaalde verwachtingsperiode. De dynamische kaarten geven het verloop van een variabele in de tijd en kunnen worden geanimeerd, waarbij de situatie in discrete tijdstappen vloeiend kan worden getoond of stap-voor-stap doorlopen. Door een waterloop of een regelkunstwerk in een kaart aan te klikken kan een grafiek worden opgevraagd (zie afbeelding 3).

Een andere mogelijkheid voor het presenteren en rapporteren van gegevens in een BOS wordt geboden door een rechtstreekse koppeling met MS Excel. Alle nabewerkte gegevens in het BOS kunnen



Afb. 3: Voorbeeld van de presentatiemodule van het BOS Hoog Water van Waterschap Hunze en Aa's⁸¹. In diverse kaarten worden de berekeningsresultaten gepresenteerd en geanimeerd. Door het selecteren van een waterloop in de kaart verschijnt een tijdreeksgrafiek (links). Hierin staan gemeten (witte achtergrond) en verwachte waterstanden (grijze achtergrond). Die zijn het resultaat van berekeningen met verschillende scenario's voor de neerslag (minimum, gemiddeld en maximum) van de komende dagen. De tijdreeksgrafiek rechts toont het resultaat van een maatregelberekening (vasthouden van water bovenstrooms).

worden opgevraagd in deze, voor gebruikers van het systeem, vertrouwde werkomgeving. Dit biedt ruime flexibiliteit voor het maken van grafieken en spreadsheetberekeningen, bijvoorbeeld voor het vergelijken van opeenvolgende waterstandsprognoses in de tijd of de vergelijking achteraf van berekeningsresultaten met metingen. Deze informatie kan weer worden toegepast bij aanvullende kalibratie van het gebruikte hydrologische of hydrodynamische model of bij uitbreiding van: sturingsregels van regelkunstwerken, maatregelstrategieën of de schematisatie van het watersysteem in het model.

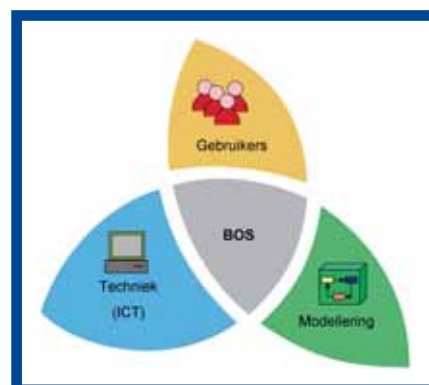
Aan een operationeel BOS worden hoge eisen gesteld op het gebied van robuustheid, performance en beschikbaarheid. Zo dient het BOS bij het ontbreken van recente telemetriegegevens toch op basis van neerslagverwachting een waterstand- of afvoerverwachting op te stellen, waarbij wordt uitgegaan van geschatte waarden voor ontbrekende gegevens. Bij normaal bedrijf functioneren de systeemlagen in nauwe samenhang, maar de systeemlagen kunnen ook onafhankelijk van elkaar werken. Door deze onafhankelijkheid is het mogelijk om op alle drie niveaus (zie afbeelding 2) functionaliteit toe te voegen of te wijzigen, zonder dat dit invloed heeft

op de andere niveaus. Bovendien kunnen de drie lagen ook op verschillende computers functioneren, waardoor het beheer en gebruik kan worden gedistribueerd.

Bouw en implementatie

De ontwikkeling en implementatie van een BOS vereist een integratie van de werkvelden watermanagement, kennismanagement en hydroinformatica. In afbeelding 4

Afb. 4: Integratie van kennis over techniek, hydrologische en hydrodynamische modellering en nauwe betrokkenheid van eindgebruikers leidt tot een succesvolle implementatie van een beslissingsondersteunend systeem.



is aangegeven wat nodig is voor een succesvolle ontwikkeling en implementatie van een beslissingsondersteunend systeem bij een waterschap.

Naast de inbreng van kennis op het gebied van ICT en softwareontwikkeling dient ruime aandacht te worden besteed aan de kwaliteit van hydrologische en hydrodynamische modellering en de gebruikerswensen op het gebied van presentatie en communicatie van modelresultaten. Indien te weinig aandacht wordt besteed aan één van deze aspecten, zal het BOS niet voldoen aan de verwachting van de gebruikers. Dit kan worden voorkomen door bij de ontwikkeling en implementatie te werken volgens technieken en methoden die bekend zijn uit de 'dynamic systems development method' (DSDM). Hierbij heeft de eindgebruiker van het BOS, tijdens de ontwikkeling van het systeem, grote invloed op de uiteindelijke vorm.

Het is essentieel dat de ruimte voor maatwerk en specifieke wensen in een BOS-platform behouden blijft, aangezien elk watersysteem eigen karakteristieken heeft en het gebruik per waterschap kan verschillen, zoals dagelijks peilbeheer, crisisbeheer of een combinatie van beide. Omdat de HydroNET-systeematiek open, modulair en generiek is

opgezet, kunnen aanvullende ontwikkelingen snel worden gerealiseerd en geïmplementeerd. Daardoor is een gefaseerde invoer van een BOS mogelijk en kan een systeem op basis van gebruikerservaringen steeds verder worden uitgebreid. Zo kan een groeitraject worden ingezet, waarbij in eerste instantie alleen gebruik wordt gemaakt van de geavanceerde meteorologische informatie voor het operationele en strategische waterbeheer. Vervolgens wordt een koppeling gemaakt met een bestaand of nieuw model voor simulatie van het watersysteem onder de actuele weersomstandigheden. Een volgende stap is koppeling met een telemetriesysteem voor nauwkeurigere simulatie en het implementeren van maatregelstrategieën en sturingsstrategieën voor dagelijks peilbeheer en crisisbeheer.

De stapsgewijze aanpak kan leiden tot een BOS dat beschikbaar over automatische kalibratieroutines, en dat zelfstandig advies geeft over de inzet van beheersmaatregelen met een optimale planning, voor bijvoorbeeld objectief crisisbeheer of energiezuinig dagelijks peilbeheer.

Conclusie

De toegenomen maatschappelijke belangen, in combinatie met meer extremen in het weer en de krapere ruimte in water-

systemen, stellen hoge eisen aan het in Nederland te voeren operationele waterbeheer. Tegelijkertijd bestaat een ruim aanbod aan kennis, gegevens en technieken, die waterbeheerders in staat stelt de optimale beheerstrategie onder zowel reguliere als extreme omstandigheden te bepalen. Met behulp van BOS-systemen kunnen beslissingen over het te voeren beheer op objectieve en reproduceerbare wijze worden afgewogen, onderbouwd en gecommuniceerd. Met de invoering van een beslissingsondersteunend systeem geeft een waterschap invulling aan één van haar primaire taken en verantwoordelijkheden op het gebied van waterbeheer en zorgt daarmee voor een betere veiligheid en actueel inzicht in de risico's die samenhangen met het wel of niet nemen van operationele maatregelen.

NOTEN

- 1) Lobbrecht A. (1997). Dynamic Water-System Control - design and operation of regional water-resources systems.
- 2) Lobbrecht A., M. Spijker, J. Schadenberg en M. Talsma (2005). Effectief water vasthouden met anticiperende sturing. H₂O nr. 16, pag. 39-42.
- 3) Lobbrecht A. en S. Loos (2004). From precipitation data to flood forecasting. 6th International Conference on Hydroinformatics - Liong, Phoon & Babovic (eds.), Singapore.

- 4) Lobbrecht A. en S. van Andel (2005). Integrated urban and rural water management using modern meteorological data. 10th International Conference on Urban Drainage, Copenhagen/Denmark.
- 5) Lobbrecht A., G. Hiemstra, M. Talsma en Z. Vonk (2003). Neerslaginformatie voor het waterbeheer. H₂O nr. 23, pag. 22-25.
- 6) Van Andel S., A. Lobbrecht en R. Price (2007). Rijnland case study: anticipatory control of a low-lying regional water system. In Thielen J. Bartholmes and J. Schaake (eds.), 3rd HEPEX workshop. Book of Abstracts, European Commission EUR22861EN.
- 7) Lobbrecht A., S. Loos, G. Versluis en M. Talsma (2004). Neerslaginformatie voor hoogwaterverwachting in De Overwaard. H₂O nr. 18, pag. 29-31.
- 8) Van Overloop P., A. Lobbrecht, H. van Norel en S. Vos. (2005). BOS Hoog Water Groningen. H₂O nr. 13, pag. 36-39.