

**Flood Control**  
**2015**

**SOLUTIONS FOR SMART FLOOD CONTROL**



# **INVENTARISATIE VAN METHODEN EN TECHNIEKEN VOOR HET MAKEN VAN KANSVERWACHTINGEN**

## INFO

### Titel

*Inventarisatie van methoden en technieken voor het maken van kansverwachtingen*

### In opdracht van

Stichting Flood Control en STOWA

### Aantal pagina's

23

### Status

Definitief

Version	Date	Author	Signature	Reviewer	Signature	Approval	Signature
Definitief	15 feb. 2012	J. Verkade A. van Loenen		J. Beckers		G. Blom	

### Projectteam:

HKV Lijn in water: Marjolein de Jong, Bas Kolen, Hanneke Vreugdenhil

Deltares: Arnejan van Loenen, Jan Verkade, Simone De Kleermaeker

### Disclaimer

While every effort has been made to ensure that the information herein is accurate, Stichting Flood Control does not accept liability for error or fact or opinion which may be present, nor for the consequences of any financial decision based on this information. The reports and material submitted by the various research providers, which are contained within the publication, have been prepared in accordance with reasonable standards of scientific endeavor. The research providers also have no control over its use by third parties, and shall likewise have no liability to a third party arising from their use of this information.

# INHOUDSOPGAVE

<b>Inhoudsopgave</b> .....	<b>1</b>
<b>1 Introductie</b> .....	<b>2</b>
<b>2 Vraagstelling</b> .....	<b>3</b>
<b>3 Overwegingen</b> .....	<b>5</b>
3.1 Het gebruik van kansverwachtingen in het beslisproces.....	5
3.2 Benodigde rekentijd .....	5
3.3 Beschikbare middelen voor implementatie van de techniek .....	6
3.4 Beschikbaarheid van historische data .....	6
3.5 “Black-box”-gehalte van de gebruikte techniek.....	6
<b>4 Beschikbare technieken</b> .....	<b>7</b>
4.1 Ensembletechnieken.....	7
4.2 Bestaande toepassingen.....	7
4.3 Geschiktheid voor Nederlandse waterschapspraktijk. ....	8
4.4 Post-processors .....	8
4.5 Bestaande implementaties .....	9
4.6 Geschiktheid voor Nederlandse waterschapspraktijk .....	9
4.7 Combinatie van ensembletechnieken en post-processors.....	9
4.8 State en parameter-updating.....	10
4.9 Bestaande toepassingen.....	11
4.10 Geschiktheid voor Nederlandse waterschapspraktijk. ....	11
4.11 Combinatie van state en parameter-updating en ensembletechnieken....	11
4.12 Bestaande toepassingen.....	11
4.13 Geschiktheid voor Nederlandse waterschapspraktijk. ....	12
<b>5 Conclusie en aanbeveling</b> .....	<b>13</b>
<b>6 Doorkijk naar uitwerking van techniek</b> .....	<b>15</b>
6.1 Proeftuin Noorderzijlvest.....	15
6.2 Referentiekaart “Quantile Regression” .....	15
6.3 Configuratie van FEWS voor het maken van kansverwachtingen met Quantile Regression.....	15
6.4 Offline calibratie en validatie .....	15
6.5 FEWS-module.....	15
<b>7 Literatuur</b> .....	<b>17</b>

# 1 INTRODUCTIE

De Nederlandse waterschappen maken dagelijks verwachtingen van waterstanden in hun beheersgebieden. Die verwachtingen worden gebruikt voor het dagelijks beheer van peilen en, in geval van extreme waarden, voor calamiteitenmanagement. Tot op heden zijn de meeste verwachtingen deterministisch van aard: er wordt een 'beste schatting' afgegeven. Echter, slechts in uitzonderlijke gevallen zal de toekomstige waterstand precies overeenkomen met de voorspelde waarde. De verwachting is daarmee onzeker.

Inmiddels bestaat een aantal technieken om zgn. kansverwachtingen – een kansverdeling van de toekomstige waarde van een hydrologische variabele – te maken. Die kansverwachtingen maken de onzekerheden in de verwachting expliciet en stellen gebruikers in staat om hiermee rekening te houden. Om de voordelen van kansverwachtingen zo goed mogelijk te benutten, is het nodig dat de gebruikers vooraf nadenken over *hoe* kansverwachtingen gebruikt kunnen worden. Dit project beoogt om dit nader te verkennen.

Deltares en HKV zijn door STOWA gevraagd om het project "Studie naar de invloed van onzekerheden op besluitvorming in operationele en strategische context" uit te voeren. Dit project wordt mede gefinancierd door Flood Control 2015. Het project bestaat uit een aantal fasen:

- 1 Inventarisatie van methoden en technieken om onzekerheden te schatten.
- 2 Uitwerken van gekozen techniek voor het schatten van onzekerheid in "Proeftuin Noorderzijlvest".
- 3 Oefenen in het omgaan met onzekerheden.
- 4 Evaluatie van technieken en concepten.

Het voorliggende rapport vormt het eindproduct van fase 1 en is bij FloodControl 2015 geregistreerd onder nummer 2011.06.03.1.

## 2 VRAAGSTELLING

De toekomstige waarde van hydrologische variabelen (zoals waterstanden, afvoeren) is *onzeker*. Die onzekerheid kan weliswaar verkleind worden door het maken van verwachtingen, maar kan nooit volledig worden geëlimineerd. Ook een gemaakte verwachting is daarom onzeker. Bronnen van die onzekerheid zijn onbekende begincondities, onvolledige schematisatie van hydrologische processen, inexacte schattingen van gebruikte modelparameters en onzekere schattingen van toekomstige neerslag. In de praktijk van operationeel voorspellen wordt toch vaak een deterministische verwachting afgegeven; nieuwe technieken echter maken het mogelijk om verwachtingen uit te drukken in kansen.

Grofweg zijn er drie redenen om verwachtingen uit te drukken in kansen.

- 1 Kansverwachtingen maken de inherente onzekerheden in de verwachting zichtbaar.
- 2 Kansverwachtingen maken het mogelijk om risicoafwegingen mee te nemen bij het nemen van beslissingen.
- 3 De verantwoordelijkheden van hydrologen en crisismanagers kunnen beter gescheiden worden.

Deze redenen zijn in detail beschreven in het artikel “Kansverwachtingen in het regionaal waterbeheer” (Verkade et al. 2011), dat is opgenomen in de bijlage bij dit rapport.

De voordelen van het uitdrukken van verwachtingen in kansen kunnen alleen gerealiseerd worden als het beslisproces is afgestemd op het ontvangen en verwerken van kansverwachtingen. Zo zal een goede manier gevonden moeten worden om kansverwachtingen te communiceren en zullen beslisdrempels moeten worden uitgedrukt in kansen in plaats van als beste schattingen. In het voorliggend project zal worden verkend hoe kansverwachtingen opgenomen kunnen worden in de procedures rondom calamiteitenmanagement.

Eén van de onderdelen van het project (zie hoofdstuk 1) is het implementeren van een techniek om kansverwachtingen te maken. Er zijn meerdere technieken beschikbaar; het onderwerp van dit rapport is het beantwoorden van de vraag: “Welke techniek(-en) is (zijn) geschikt om kansverwachtingen te maken in de Nederlandse waterschapspraktijk?”

In dit document wordt beschreven wat de overwegingen zijn op basis waarvan de keuze voor een techniek gemaakt moet worden (Hoofdstuk 3) en welke technieken beschikbaar zijn (Hoofdstuk 4). Daarbij wordt gebruik gemaakt van het raamwerk dat beschreven is in Sene et al. (in preparation). Vervolgens wordt een aanbeveling gedaan met betrekking tot de keuze voor een in dit project te gebruiken techniek (Hoofdstuk 5), en een doorkijk gegeven naar de implementatie ervan (Hoofdstuk 6).



### 3 OVERWEGINGEN

Bij de keuze voor een geschikte techniek voor het maken van kansverwachtingen zijn de volgende overwegingen belangrijk:

- 1 Het gebruik van kansverwachtingen in het beslisproces.
- 2 Benodigde rekentijd.
- 3 Beschikbare middelen voor implementatie van de techniek.
- 4 Beschikbaarheid van historische data.
- 5 “Black-box”-gehalte van de gebruikte techniek.

#### 3.1 HET GEBRUIK VAN KANSVERWACHTINGEN IN HET BESLISPROCES

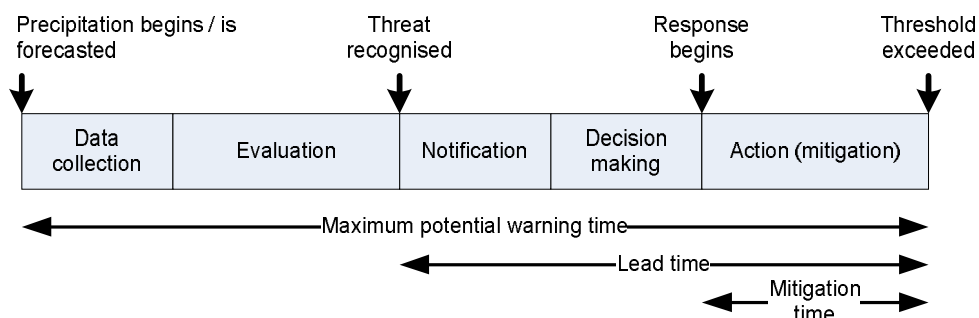
Afhankelijk van de reden van het maken van kansverwachtingen, kunnen ze kwalitatief of kwantitatief gebruikt worden. Indien het doel van kansverwachtingen is om duidelijk te maken dat een verwachting inherent onzeker is, kan het volstaan om de kansverwachting kwalitatief te schatten. Als echter ook op basis van overschrijdingskansen (van kritieke peilen) of op basis van risico-afwegingen beslist wordt, is het nodig om de kansverwachting nauwkeurig te kwantificeren.

#### 3.2 BENODIGDE REKENTIJD

In het proces van hoogwaterwaarschuwing (Figuur 3.1) is een aantal stappen te onderscheiden:

- 1 Het verzamelen van meteorologische en hydrologische data en het maken van een verwachting van waterstanden en/of afvoeren.
- 2 Het inlichten van ‘beslissers’ en het nemen van de beslissing.
- 3 Het nemen van maatregelen bedoeld om de *hazard* - of de nadelige gevolgen ervan – te beperken.

Voor het proces is beperkt tijd beschikbaar. Aangenomen dat de effectiviteit van een maatregel toeneemt met de beschikbare tijd voor uitvoering daarvan, zal de benodigde tijd voor Stappen 1 en 2 zo klein mogelijk gemaakt moeten worden zodat voor stap 3 zo veel mogelijk tijd beschikbaar is.



**Figuur 3.1** Tijdlijn voor hoogwaterwaarschuwing ((Verkade 2008); gebaseerd op (Carsell et al. 2004))

De beheersgebieden van de Nederlandse waterschappen zijn relatief klein; concentratietijden bedragen waarschijnlijk enkele uren. De *maximum potential warning time* is daarmee ook beperkt. Deze kan verlengd worden door het gebruik van meteorologische verwachtingen. Daarbij dient rekening gehouden te worden met de toename van het niveau van onzekerheid. Voor zichttijden kleiner dan de concentratietijd van de beschouwde stroomgebieden kan gebruikt worden gemaakt van metingen van reeds gevallen neerslag. Daarmee zal de onzekerheid van de hydrologische verwachting relatief klein zijn.

Zichttijden die groter zijn dan de concentratietijd maken gebruik van schattingen van neerslag die nog niet gevallen is, oftewel van meteorologische verwachtingen. De onzekerheid daarin is relatief groot, en zal zich ook vertalen in grote onzekerheid in de hydrologische verwachting. Indien voor het nemen van een beslissing een grote zekerheid vereist wordt, zal dit betekenen dat deze beslissing alleen voor een relatief korte zichttijd genomen kan worden.

Op basis van een gemaakte verwachting – of in elk geval *mede* op basis daarvan – zal besloten moeten worden om al dan niet maatregelen te nemen. De tijd die benodigd is om de beslissing te nemen en om de maatregelen uit te voeren stelt een minimumeis aan de benodigde zichttijd van een verwachting: die zal ten minste zo lang moeten zijn. We veronderstellen hier dat de orde-grootte daarvan enkele uren bedraagt.

### 3.3 BESCHIKBARE MIDDELEN VOOR IMPLEMENTATIE VAN DE TECHNIEK

Gegeven de beschikbare middelen (tijd, budget) voor de implementatie van kansverwachtingen, zal een keuze gemaakt moeten worden tussen het gebruik van een bestaande techniek en het initiëren van een nieuwe ontwikkeling. De laatste optie zal vaak een grotere inspanning vragen dan het toepassen van *best practices*, ook omdat de mogelijkheden en beperkingen nog niet goed bekend zijn, wat bij *best practices* wél het geval is.

Bij de techniekkeuze moet ook meegenomen worden dat sommige technieken meer rekenkracht vragen dan andere; een investering in de uitbreiding daarvan kan dan nodig zijn. Ook kan van techniek tot techniek een verschil zijn tussen de inspanning die vóóraf geleverd moet worden; denk dan bijvoorbeeld aan de benodigde tijd om modellen te calibreren.

### 3.4 BESCHIKBAARHEID VAN HISTORISCHE DATA

Als kansverwachtingen worden gemaakt op basis van foutenmodellen van in het verleden gemaakte verwachtingen, is een relatief lange homogene reeks van zowel waarnemingen als verwachtingen nodig. Indien een reeks van verwachtingen niet bestaat, kan middels *hindcasting* of *re-forecasting*<sup>1</sup> een synthetische reeks gemaakt worden. Daarvoor moet dan wel een tijdreeks van invoervariabelen (e.g. neerslag, temperatuur) beschikbaar zijn.

### 3.5 “BLACK-BOX”-GEHALTE VAN DE GEBRUIKTE TECHNIEK

Mogelijk worden kansverwachtingen gebruikt om ingrijpende beslissingen te nemen. Het is dan belangrijk dat de gebruikte techniek door de gebruikers ervan goed begrepen worden. In elk geval zal vermeden moeten worden dat het maken van de kansverwachting als *black box* gezien wordt. Het vertrouwen in de gemaakte verwachting zal dan sterk afnemen; mogelijk zelfs zal men afzien van het gebruik ervan.

---

<sup>1</sup> Bij *hindcasting* of *re-forecasting* worden met terugwerkende kracht verwachtingen gemaakt. Hierbij wordt alleen informatie gebruikt die destijds voor de real-time voorspelling beschikbaar was. Nadien gedane waarnemingen worden dus NIET meegenomen.



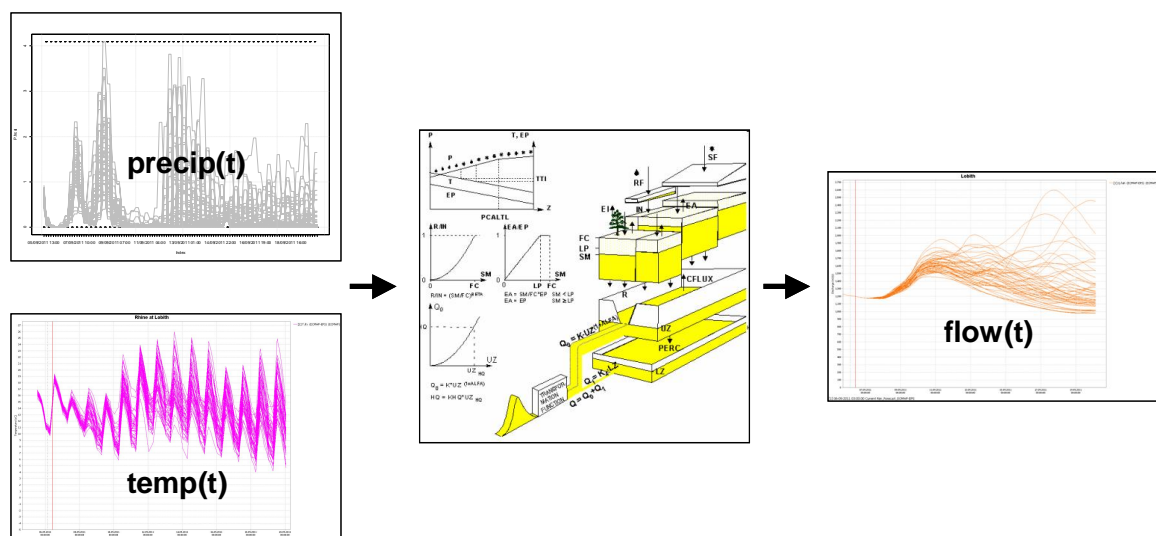
## 4 BESCHIKBARE TECHNIKEN

In grote lijnen zijn de volgende technieken beschikbaar om kansverwachtingen te produceren:

- 1 Het voorwaarts propageren van bekend veronderstelde onzekerheden in invoerdata of modelparameters ("ensembletechnieken").
- 2 Het nabewerken van deterministische verwachtingen ("post-processors").
- 3 Een combinatie van ensembletechnieken en post-processors.
- 4 Schatten en reduceren van onzekerheden middels state- en parameter updating.
- 5 Een combinatie van ensembletechnieken en state- en parameter updating.

### 4.1 ENSEMBLETECHNIKEN

Bij "voorwaartse propagatie van onzekerheden" worden onzekerheden uit verschillende bronnen eerst gekwantificeerd, en dan elk door het hydrologische model gepropageerd. In de praktijk gaat het vooral om onzekere begincondities in de meteorologische verwachting, die tot grote verschillen in toekomstige staat van de atmosfeer kunnen leiden (het zgn. "butterfly effect"). Bij zgn. hydrologische ensembleverwachtingen worden alle ensemble *members* van bijvoorbeeld neerslag en temperatuur (afkomstig uit het meteorologische model) elk door een hydrologisch model gepropageerd. Dit levert een ensemble van hydrologische verwachtingen op. Op basis hiervan kan een kansverwachting worden opgesteld.



Figuur 4.1 Schematische weergave van het principe van ensembletechnieken

Een duidelijke beschrijving van de technieken kan o.a. gevonden worden in Gouweleeuw, B.T. et al., 2005. en in Pappenberger, F. et al., 2005 (beide gratis te downloaden via in literatuurlijst genoemde link).

### 4.2 BESTAANDE TOEPASSINGEN

Het gebruik van ensembleverwachtingen is in de afgelopen jaren sterk toegenomen. In Europa zijn o.a. de volgende meteo-ensembleproducten beschikbaar:

- 5 ECMWF-EPS: 50+1 members, 14d lead-time, resolutie van één-tiende graad.
- 6 COSMO-LEPS: 15+1 members, 48h-120h lead-time, hogere ruimtelijke resolutie.

Deze producten worden al gebruikt bij de Waterdienst, voor het voorspellen van waterstanden en afvoeren van de Rijn en de Maas. Ook wordt ECWMF EPS in aangepaste vorm al gebruikt bij enkele waterschappen (bijv. Hunze en Aa, WS Friesland).

Daarnaast wordt bij sommige waterschappen ook gebruik gemaakt van een ensemble van meerdere deterministische meteorologische verwachtingen (zgn. “poor man’s ensembles”). De resulterende spreiding is dan een maat voor de onzekerheid die volgt uit de modelschematisaties en –parameters van de gebruikte meteorologische modellen.

### 4.3 GESCHIKTHEID VOOR NEDERLANDSE WATERSCHAPSPRAKTIJK.

Passend toepassing	bij	7	Ensembles maken duidelijk zichtbaar dat een verwachting onzeker is.
		8	Voor het afleiden van een kansverdeling uit een ensembleverwachting is een groot aantal ensemble members nodig.
		9	Geven kansverwachting waarin weliswaar de belangrijkste (toekomstige neerslag), maar niet <u>alle bronnen van onzekerheid zijn meegenomen.</u>
Rekentijd			Rekentijd is lineair evenredig met het aantal ensemble members en kan dus snel toenemen, zeker gezien het grote aantal benodigde members. Mogelijk kan de doorlooptijd van de berekening bekort worden door “parallel rekenen”: in principe kunnen de individuele ensemble members onafhankelijk van elkaar doorgerekend worden.
Beschikbare middelen			De techniek is relatief eenvoudig te implementeren omdat geen nieuwe modules in de veelgebruikte FEWS-systemen nodig zijn. Het is wel vereist dat de gebruiker een overeenkomst heeft met dataleveranciers (bijvoorbeeld ECMWF, DWD).
Historische data			Historische data is niet nodig om de techniek te kunnen gebruiken. Om een inschatting te maken van de kwaliteit van de gemaakte ensembleverwachtingen moet wél een lange reeks van in het verleden gemaakte verwachtingen beschikbaar zijn. Alleen van ECMWF is bekend dat ze die reeksen kunnen leveren; het betreft dan wel een reeks met minder members dan operationeel gebruikt wordt.
“Black-box”-gehalte			Laag. De meeste gebruikers weten dat de atmosfeer een chaotisch systeem is waarbij kleine veranderingen/verstoringen in de begincondities tot grote verschillen in de verwachting kunnen leiden (“butterfly effect”). Dit wordt goed zichtbaar bij het gebruik van ensembles.

### 4.4 POST-PROCESSORS

Indien tijdreeksen van in het verleden gemaakte verwachtingen en corresponderende waarnemingen beschikbaar zijn, kan een model gemaakt worden van de in het verleden waargenomen “fout”: het verschil tussen verwachting en voorspelling. Onder de aanname dat dit foutenmodel in de toekomst onveranderd zal zijn, kan het gemaakte foutenmodel ‘real-time’ worden toegepast.

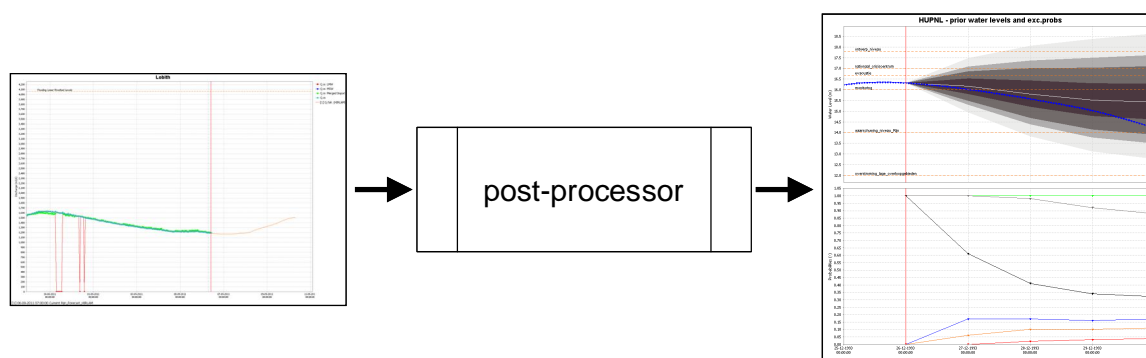


Figure 4.2 Schematische weergave van het principe van post-processors

#### 4.5 BESTAANDE IMPLEMENTATIES

Voorbeelden van deze techniek zijn de Hydrological Uncertainty Processor (o.a. (Krzysztofowicz & Kelly 2000)) en Quantile Regression (Koenker 2005; Weerts et al. 2011). Beide technieken zijn onderwerp geweest van onderzoek bij Deltares. Alleen QR heeft inmiddels zijn weg gevonden naar operationele toepassingen (e.g. in het National Flow Forecasting System van de Environment Agency in Engeland en Wales).

#### 4.6 GESCHIKTHEID VOOR NEDERLANDSE WATERSCHAPSPRAKTIJK

Passend toepassing	bij	10 Post-processors maken goed zichtbaar dat een verwachting onzeker is. 11 Post-processors kunnen zó geconfigureerd worden, dat het resultaat een gediscretiseerde kansverwachting is die nodig is om risicoberekeningen te maken of onder- en overschrijdingskansen te berekenen. 12 Geven kansverwachting waarin alle bronnen van onzekerheid zijn meegenomen.
Rekentijd		Rekentijd is kort; de meeste post-processors hebben slechts enkele seconden nodig om het foutenmodel toe te passen.
Beschikbare middelen		13 Techniek maakt gebruik van bestaande, deterministische verwachtingen als invoer. 14 Techniek moet wel gecalibreerd worden; vaak is het nodig om een tijdreeks van gemaakte verwachtingen te construeren. 15 Techniek moet als module geïmplementeerd worden in voorspellingsstelsel.
Historische data		Voor calibratie van de techniek is het nodig om reeksen van in het verleden gemaakte verwachtingen en bijbehorende waarnemingen te hebben. In de meeste gevallen moeten die verwachtingen middels “hind-casting” geconstrueerd worden. Vergelijk met waarnemingen kan problematisch zijn als (i) de kwaliteit van de monitoringdata niet goed is; (ii) er aanpassingen in het watersysteem gemaakt zijn.
“Black-box”-gehalte		Hangt af van gebruikte implementatie: 16 HUP is gebaseerd op Bayesiaanse revisie. De onderliggende wiskunde is vrij ingewikkeld en niet eenvoudig te doorgronden. 17 Het principe van Quantile Regression kan middels eenvoudige spreidingsdiagrammen (waarnemingen versus gemaakte verwachtingen) uitgelegd worden.

#### 4.7 COMBINATIE VAN ENSEMBLETECHNIKEN EN POST-PROCESSORS

Het combineren van ensembleverwachtingen met nabewerking is veelbelovend, omdat op die manier een onderscheid gemaakt wordt tussen de grootste bron van onzekerheid

(meteorologische verwachtingen) en hydrologische verwachtingen. Onderzoek naar h oe de technieken gecombineerd worden, staat echter nog in de kinderschoenen.

Passend toepassing	bij	18	Visualisatie van onzekerheid: duidelijk.
		19	Het maken van een kansverdeling is goed mogelijk.
		20	Geven kansverwachting waarin �alle bronnen van onzekerheid zijn meegenomen en op geavanceerdere manier worden berekend dan bij ensembleverwachtingen en post-processors all�een.
Rekentijd			Rekentijd kan lang zijn, omdat eerst een hydrologische ensembleverwachting moet worden gemaakt.
Beschikbare middelen			De combinatie is weliswaar veelbelovend, doch onderzoek staat nog in kinderschoenen en praktijktoepassingen zijn nog ver weg.
Historische data			Als bij post-processors, waarbij nu een reeks van in het verleden gemaakte hydrologische-ensembleverwachtingen nodig is om de post-processors te calibreren.
“Black-box”-gehalte			Als bij ensembletechnieken en post-processors.

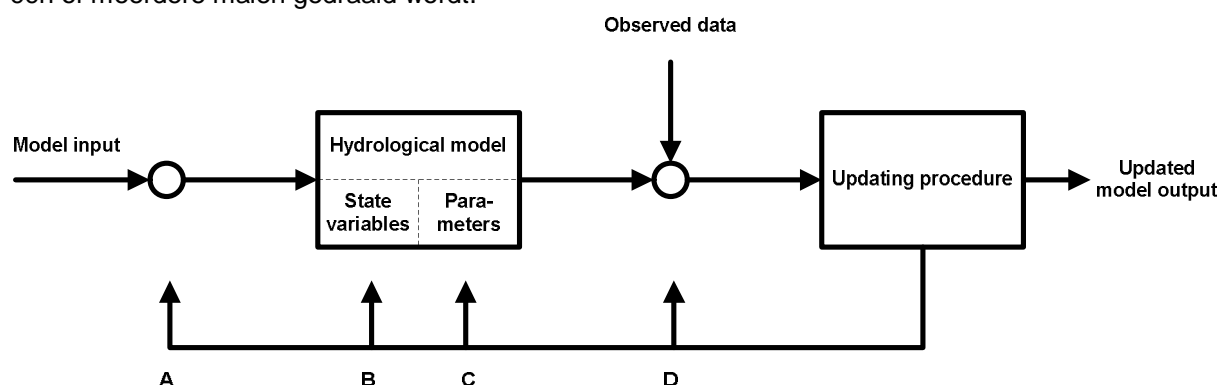
#### 4.8 STATE EN PARAMETER-UPDATING

State en parameter-updating – ook vaak “data assimilatie” genoemd – heeft als doel om de informatie die verkregen wordt uit real-time waarnemingen mee te nemen in de model simulaties en verwachtingen. Met behulp van metingen (b.v. (grond)waterstand, afvoer, etc) kunnen modeltoestanden en modelparameters worden aangepast. In essentie is data-assimilatie daarmee een Bayesiaans proces: een gemaakte model simulatie/verwachting wordt aangescherpt op basis van gemeten informatie.

Data-assimilatie kan op een aantal manieren gebeuren (Figuur 4.3):

- 1 Updaten van invoervariabelen (A);
- 2 Updaten van de *state* van een model (B);
- 3 Updaten van de modelparameters (C); en
- 4 Updaten van de modeluitkomsten (“error correction/postprocessing”, D).

Deze aanpakken zijn beschreven in (Refsgaard, 1997 en Werner et al. 2005);. Met uitzondering van het gebruik van postprocessing (zie ook 4.2) vragen ze elk dat het model na de initiële run én of meerdere malen gedraaid wordt.



**Figuur 4.4 Schematische weergave van vier aanpakken in data-assimilatie (Werner et al. 2005; Refsgaard 1997)**

Het gebruik van state-updating om kansverwachtingen te maken vraagt gebruik van zgn. filtertechnieken (e.g. Ensemble Kalman filter, particle filter). Beschikbare implementaties en toepassingen worden momenteel verzameld in OpenDA software (OpenDA association n.d.).

#### 4.9 BESTAANDE TOEPASSINGEN

In de praktijk van operationele voorspellingen wordt het aanpassen van de *state* van de modellen vaak toegepast. Hoewel conceptueel eenvoudig, is dat niet altijd triviaal, omdat waargenomen variabelen niet altijd overeenkomen met de conceptuele *stores* of *flows* van het gebruikte model, of dat de tijdschalen ervan verschillen. Geavanceerdere methodes zoals Ensemble Kalman filtering zijn daar beter voor geschikt; hiermee kunnen ook probabilistische verwachtingen voor de korte termijn worden verwacht. Ensemble Kalman filters zijn echter nog niet beschikbaar voor gebruik met SOBEK.

Vaker nog wordt gebruik gemaakt van deterministische *error correction* (*ipv probabilistische georiënteerde postprocessoren*), waarbij real-time een foutenmodel van de historische simulatie wordt gemaakt, en dat model vervolgens wordt toegepast op de gemaakte verwachting. Deze methode leidt vooral voor de korte termijn tot een betere deterministische verwachting, doch levert geen *kansverwachting*.

#### 4.10 GESCHIKTHEID VOOR NEDERLANDSE WATERSCHAPSPRAKTIJK.

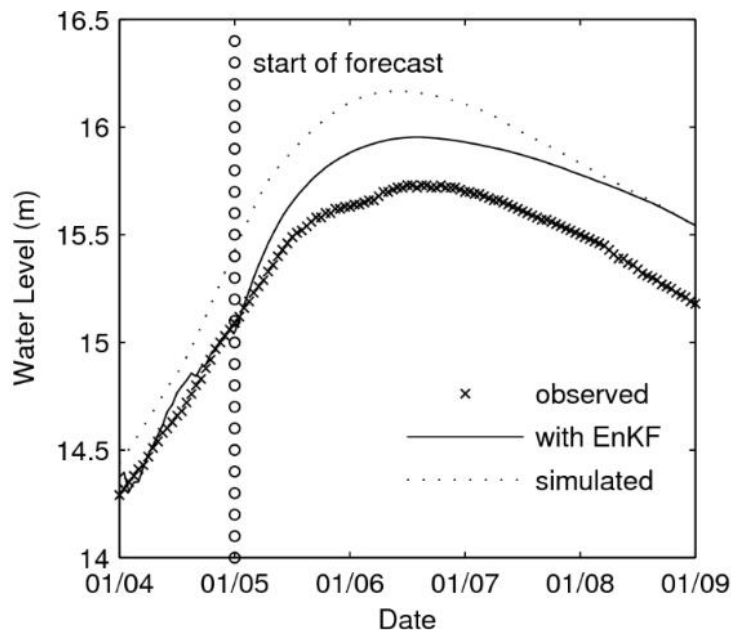
Passend toepassing	bij	Met probabilistische data-assimilatie gemaakte kansverwachtingen wordt onzekerheid op korte termijn geschat. Voor zichttijden langer dan de concentratietijd van het beschouwde gebied zal de kwaliteit van de kansverwachtingen sterk afnemen doordat andere bronnen van onzekerheid (anders dan initiële condities) gaan domineren.
Rekentijd		Rekentijd kan lang zijn, zeker als met terugwerkende kracht de “state” van het hydrologische en/of hydrodynamische model moet worden aangepast.
Beschikbare middelen		Data-assimilatie is <i>in principe</i> mogelijk voor alle hydrologische en hydrodynamische modellen. Echter, niet voor alle in Nederland gebruikte modellen is een implementatie beschikbaar. Zo is het gebruik van data-assimilatie in combinatie met Sobek RUR (Rural/Urban/River) weliswaar in ontwikkeling (in combinatie met OpenDA), doch op dit moment nog niet beschikbaar.
Historische data		Calibratie op basis van lange historische reeksen is niet aan de orde en dus geen ‘issue’.
“Black-box”-gehalte		Bij iedere verwachting wordt een nieuw foutenmodel gemaakt. Het is niet altijd duidelijk, hoe dat model tot stand is gekomen. De aanpassing van de verwachting kan daarom verrassingen opleveren.

#### 4.11 COMBINATIE VAN STATE EN PARAMETER-UPDATING EN ENSEMBLETECHNIKEN

Bij het schatten van toekomstige afvoer met neerslag-afvoermodellen zijn de twee grootste bronnen van onzekerheid de initiële bodemvocht- en grondwatercondities, en de voorspelde neerslag. Bij riviermodellen daarentegen is de initiële waterstand van groot belang: deze is, tussen meetpunten, onzeker. Om inzicht te krijgen in deze onzekerheid kan de combinatie van state- en parameter updating met ensembletechnieken van hulp zijn. Het is een techniek die nog niet veel wordt toegepast, onder andere vanwege de complexiteit en de benodigde rekenkracht.

#### 4.12 BESTAANDE TOEPASSINGEN

Een voorbeeld van toepassing wordt beschreven in Weerts et al (2010). Hierbij vindt state updating plaats in combinatie met zowel deterministische (HIRLAM, DWD-LM, DWD-GME) als ensemble (ECMWF-EPS) weersverwachtingen voor de Rijn.



**Figuur 4.5 State updating zorgt voor een correcte initiële waterstand bij de start van de verwachtingsberekening(en) (Weerts et al, 2010)**

#### 4.13 GESCHIKTHEID VOOR NEDERLANDSE WATERSCHAPSPRAKTIJK.

Passend toepassing	bij	Met probabilistische data-assimilatie gemaakte kansverwachtingen wordt onzekerheid op korte termijn geschat. Voor zichttijden langer dan de concentratietijd van het beschouwde gebied wordt gebruik gemaakt van de ensembleverwachting, die juist de onzekerheid van neerslagverwachting schat. Hierdoor worden de belangrijkste bronnen van onzekerheid meegenomen in de schatting.
Rekentijd		Rekentijd kan lang zijn, zeker als met terugwerkende kracht de “state” van het hydrologische en/of hydrodynamische model moet worden aangepast. Daarnaast moeten er verschillende ensembleberekeningen worden uitgevoerd.
Beschikbare middelen		Data-assimilatie is <i>in principe</i> mogelijk voor alle hydrologische en hydrodynamische modellen. Echter, niet voor alle in Nederland gebruikte modellen is een implementatie beschikbaar. Zo is het gebruik van data-assimilatie in combinatie met Sobek RUR (Rural/Urban/River) weliswaar in ontwikkeling (in combinatie met OpenDA), doch op dit moment nog niet beschikbaar. De ensembles zijn wel makkelijk toe te passen. Het is dan vereist dat de gebruiker een overeenkomst heeft met dataleveranciers (bijvoorbeeld ECMWF, DWD).
Historische data		Calibratie op basis van lange historische reeksen is niet aan de orde en dus geen ‘issue’.
“Black-box”-gehalte		Bij iedere verwachting wordt een nieuw foutenmodel gemaakt. Het is niet altijd duidelijk, hoe dat model tot stand is gekomen. De aanpassing van de verwachting kan daarom verrassingen opleveren.

## 5 CONCLUSIE EN AANBEVELING

Op dit moment is een aantal technieken beschikbaar om kansverwachtingen te produceren:

- 1 Ensembletechnieken.
- 2 Post-processors.
- 3 Combinatie van ensembletechnieken en post-processors.
- 4 State updating (e.g. EnKF).
- 5 Combinatie van state updating en ensembletechnieken.

Samenvattend zijn de belangrijkste overwegingen voor de techniekkeuze voor de te maken kansverwachtingen bij Waterschap Noorderzijlvest als volgt:

- 1 In principe zijn alle genoemde technieken mogelijk om de gevraagde kansverdelingen te produceren. Echter, ensembletechnieken en state-updating geven slechts een schatting van onzekerheid als gevolg van onzekere begincondities in resp. meteorologische verwachting en hydrologische verwachting. Daarmee is vooral de laatste techniek vooral geschikt voor het schatten van onzekerheden voor de zeer nabije toekomst. Voor de beoogde toepassing zijn langere zichttijden noodzakelijk. Om deze reden is state-updating minder geschikt.
- 2 Voor het maken van een kansverwachting met ensembletechnieken is het benodigde aantal ensemble members groot; dat vraagt lange rekentijden voor de vaak gebruikte hydrodynamische modellen. Dat geldt ook voor de combinatie van ensemblemethoden met post-processors en de combinatie state updating met ensemblemethoden.
- 3 State-updating methoden zijn nog niet geschikt zijn voor gebruik in combinatie met SOBEK, dat bij Waterschap Noorderzijlvest gebruikt wordt; ontwikkeling hiervan vergt een grotere inspanning dan die in dit project gedaan kan worden. De Quantile Regression methode is eerder toegepast in operationele systemen; daarmee kan in voorliggend project met relatief beperkte middelen een implementatie gemaakt worden.
- 4 Bij Waterschap Noorderzijlvest is voldoende data beschikbaar om een reeks van in het verleden gemaakte verwachtingen te reconstrueren; daarmee kan voldaan worden aan de 'databehoefte' van een post-processormethode.
- 5 Kansverwachtingen op basis van ensembletechnieken zijn het makkelijkst uitlegbaar; de andere technieken zullen goed toegelicht moeten worden.

Om deze redenen bevelen we aan om in dit project kansverwachtingen te produceren op basis van post-processors in het algemeen, en Quantile Regression in het bijzonder. Het is belangrijk om op te merken dat deze analyse geldig is voor de beoogde toepassing in "proeftuin" Waterschap Noorderzijlvest. Voor andere situaties kan het resultaat van de analyse anders zijn.





## 6 DOORKIJK NAAR UITWERKING VAN TECHNIEK

Het uitwerken van de techniek vindt plaats in Fase 2 van het project. Hieronder wordt een korte doorkijk gegeven. Daarbij is ervan uitgegaan dat de uiteindelijke keuze voor de te gebruiken techniek conform de hierboven gedane aanbeveling is.

### 6.1 PROEFTUIN NOORDERZIJLVEST

De proeftuin zal generiek worden opgezet, opdat de gebruikte techniek relatief eenvoudig bij andere waterschappen kan worden ingezet. De meeste waterschappen maken gebruik van Delft-FEWS software als productiesysteem voor hydrologische verwachtingen. Quantile Regression zal daarom worden opgezet als FEWS-module die relatief eenvoudig voor andere lokaties binnen Noorderzijlvest, en andere FEWS configuraties te gebruiken is. De gemaakte scripts en documentatie zullen voor alle STOWA-leden beschikbaar zijn.

### 6.2 REFERENTIEKAART “QUANTILE REGRESSION”

Om het “black-box”-gehalte van Quantile Regression (QR) zo veel als mogelijk te verlagen, zal een korte en heldere beschrijving van principes en uitwerking gemaakt worden. Die beschrijving zal niet langer worden dan één pagina tekst.

### 6.3 CONFIGURATIE VAN FEWS VOOR HET MAKEN VAN KANSVERWACHTINGEN MET QUANTILE REGRESSION

De implementatie van Quantile Regression wordt in twee stappen gedaan:

- 1 Offline calibratie en validatie.
- 2 Opzetten van een FEWS module voor het real-time produceren van kansverwachtingen.

### 6.4 OFFLINE CALIBRATIE EN VALIDATIE

Stappen:

- 1 Uitvoeren van hindcasts / re-forecasts.
- 2 Calibreren van QR op basis van gelijke tijdreeksen van waarnemingen en verwachtingen.
- 3 Uitvoeren van QR-hindcast.
- 4 Validatie van QR-model.

### 6.5 FEWS-MODULE

Stappen:

- 1 Configureren van QR module voor operationeel gebruik.
- 2 Configureren van FEWS-displays.
- 3 Configureren van export van kansverwachtingen opdat ze periodiek geëvalueerd kunnen worden.



## 7 LITERATUUR

- Carsell, K.M., Pingel, N.D. & Ford, D.T., 2004. Quantifying the benefit of a flood warning system. *Natural Hazards Review*, 5, p.131.
- Gouweleeuw, B.T. et al., 2005. Flood forecasting using medium-range probabilistic weather prediction. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 9(4), pp.365-380. ([http://www.hydrol-earth-syst-sci.net/special\\_issue57.html](http://www.hydrol-earth-syst-sci.net/special_issue57.html))
- Koenker, R., 2005. *Quantile Regression*, Cambridge University Press.
- Krzysztofowicz, R. & Kelly, K.S., 2000. Hydrologic uncertainty processor for probabilistic river stage forecasting. *Water resources research*, 36(11).
- OpenDA association, OpenDA: an open-source data-assimilation toolbox. Available at: <http://www.openda.org/joomla/index.php> [Accessed September 8, 2011].
- Pappenberger, F. et al., 2005. Cascading model uncertainty from medium range weather forecasts (10 days) through a rainfall-runoff model to flood inundation predictions within the European Flood Forecasting System (EFFS). *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 9(4), pp.381-393. ([http://www.hydrol-earth-syst-sci.net/special\\_issue57.html](http://www.hydrol-earth-syst-sci.net/special_issue57.html))
- Refsgaard, J.-C., 1997. Validation and comparison of different updating procedures for real-time forecasting. *Nordic Hydrology*, 28, pp.65-84.
- Sene, K.J. et al., in preparation. Uncertainty estimation in fluvial flood forecasting applications. In *Applied uncertainty analysis for flood risk management*. London: Imperial College Press.
- Verkade, J.S., 2008. *On the value of flood warning systems*. Master of Science dissertation. Delft, The Netherlands: Delft University of Technology.
- Verkade, J.S. et al., 2011. Kansverwachtingen in het regionaal-waterbeheer. *H2O*, 16, pp.20-21.
- Weerts, A., El Serafy, G., Hummel, S., Dhondia, J. and Gerritsen, H.: 2010, Application of generic data assimilation tools (DATools) for flood forecasting purposes, *Computers & Geosciences* 36(4), 453–463.
- Weerts, A.H., Winsemius, H.C. & Verkade, J.S., 2011. Estimation of predictive hydrological uncertainty using quantile regression: examples from the National Flood Forecasting System (England and Wales). *Hydrology and Earth System Sciences*, 15(1), pp.255-265.
- Werner, M.G.F., Schellekens, J. & Kwadijk, J.C.J., 2005. Flood early warning systems for hydrological (sub) catchments. *Encyclopedia of Hydrological Sciences*.



# APPENDIX 1 : ARTIKEL “KANSVERWACHTINGEN IN HET REGIONAAL WATERBEHEER”

# Kansverwachtingen in het regionaal waterbeheer

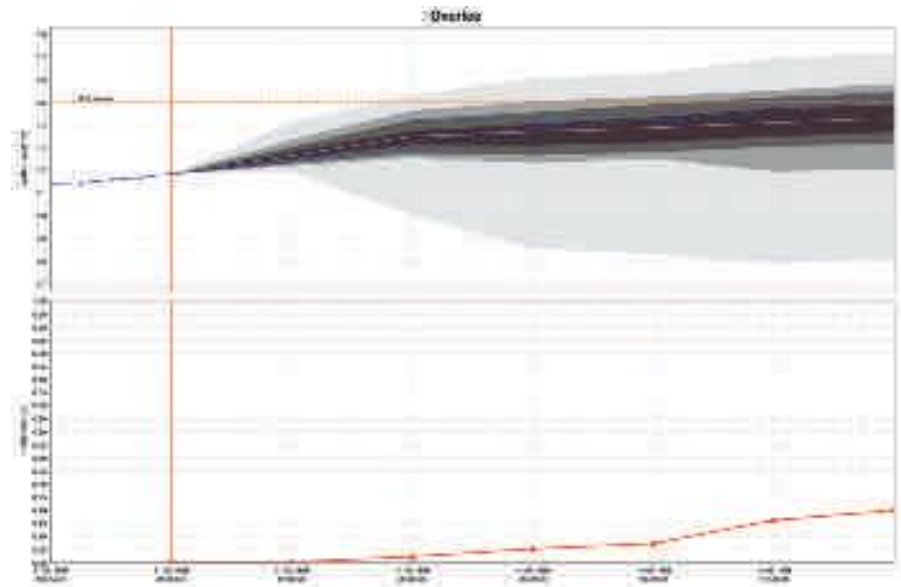
**Grand Forks, North Dakota, april 1997. Onverwacht en tot ontsteltenis van inwoners en stadsbestuur overstroomden de dijken die de stad moeten beschermen tegen overstromingen vanuit de Red River. Uiteindelijk staat zo'n 80 procent van de stad onder water. De gemeentelijke crisismanagers zijn steeds uitgegaan van de door hydrologen voorspelde maximale waterstand van 14,94 meter. Omdat de dijken opgehoogd zijn tot 15,24 meter, achten zij extra maatregelen niet nodig. De waterstand stijgt echter tot ruim 16,5 meter. De crisismanagers geven aan dat ze, indien ze dat vooraf geweten zouden hebben, de stad daartegen hadden kunnen beschermen.**

De toekomstige waarde van hydrologische variabelen is, zo bleek maar weer eens, onzeker. Die onzekerheid wordt weliswaar verkleind door het maken van verwachtingen of voorspellingen, maar is nooit volledig te elimineren. In het waterbeheer wordt veel gebruik gemaakt van puntverwachtingen, waarbij één beste schatting van de toekomstige waarde van de beschouwde variabele gemaakt wordt. Het gevaar daarvan is dat een zekerheid gesuggereerd wordt die er niet is. Een alternatief is de onzekerheid over toekomstige waterstanden, afvoeren etc. expliciet te maken, oftewel om een verwachting uit te drukken in een kansverdeling.

## Kansverdeling

Die kansverdeling is bijvoorbeeld te gebruiken om de kans op hoogwater te bepalen: 'Morgenmiddag om 12.00 uur is er 25 procent kans op overschrijding van het waarschuwingsspeil op locatie X'.

De grafiek toont hoe een kansverwachting gevisualiseerd kan worden. In het bovenste paneel wordt een (gediscretiseerde) kansverdeling getoond voor een periode van zes uur na het maken van de verwachting ( $t_0$ , aangegeven door de verticale rode lijn). De betrouwbaarheidsintervallen worden gevormd door (van buiten naar binnen) de 1-99 procent, 5-95 procent, 10-90 procent en de 25-75 procent overschrijdingskansen. De witte lijn in het middelste vlak is de lijn die zowel een 50 procent kans op onder-schrijding als een 50 procent kans op



Afb. 1: Voorbeeld van een kansverwachting: de kansverdeling (boven) en de kans op overschrijding van het overstromingsniveau (onder).

overschrijding heeft. In het paneel eronder is die kansverdeling vertaald naar de kans op hoogwater (in dit geval de kans op overschrijding van het overstromingsniveau op  $h=1,5$  meter). Te zien is dat die kans oploopt van nul procent op  $t_0$  naar 20 procent op zes uur daarna. In de figuur zijn ook de waarnemingen geprojecteerd (blauwe punten) die zijn gedaan in de periode na het maken van de verwachting ( $t_0$ ). De waarnemingen laten zien dat het

kritieke peil op zes uur na  $t_0$  overschreden wordt.

## Waarom kansverwachtingen?

Grofweg zijn er drie redenen om verwachtingen uit te drukken in kansen. Kansverwachtingen, in tegenstelling tot puntverwachtingen, maken de inherente onzekerheden in de verwachting zichtbaar. Verder maken kansverwachtingen het mogelijk risicoafwegingen mee te nemen bij het nemen van beslissingen. Ten slotte zijn de verantwoordelijkheden van hydrologen en crisismanagers beter te scheiden.

## Inherente onzekerheden worden expliciet gemaakt

De toekomstige waarde van hydrologische variabelen is onbekend. Met rekenmodellen kunnen we een schatting van deze waarde maken. Onbekende begincondities, onvolledige schematisaties van hydrologische processen, inexacte schattingen van gebruikte modelparameters en, niet in de laatste plaats, onzekere schattingen van toekomstige neerslag hebben echter tot gevolg dat die schattingen meestal niet exact zullen zijn. Het is daarom eerlijker om een verwachting af te geven die expliciet laat zien dat sprake is van onzekerheid. Een kansverwachting kan ook helpen bij het achteraf evalueren van een beslissing. Denk bijvoorbeeld aan de dijkbewaking die 'voor niets' op zondagavond laat wordt ingesteld. Als vooraf duidelijk was dat mogelijk extreme condities zouden optreden, zullen de

Grand Forks, april 1997. De overstroming uit de Red River resulteert in zo'n 1 miljard schade, maar was niet voorspeld.



kans op hoogwater (1)	maatregelen (2)	schade bij hoogwater (3)	kosten van maatregel (4)	verwachte schade/kosten (5)=(1)*(3)+(4)
25%	nee	1.000.000 euro	0 euro	250.000 euro
25%	ja	800.000 euro	25.000 euro	225.000 euro

#### Verwachtingswaarde van een beslissing.

gevolgen van de 'foute' beslissing door de betrokkenen makkelijker geaccepteerd worden.

#### Kansverwachtingen maken risicobeslissingen mogelijk

Een kansverwachting biedt de mogelijkheid om de verwachtingswaarde van een beslissing te bepalen en dit risico mee te nemen in de afweging. Een eenvoudig voorbeeld: stel dat er 25 procent kans is op een waterstand die een miljoen euro schade tot gevolg heeft. Door tijdig maatregelen te nemen, is de schade te beperken tot 800.000 euro. Die schadebeperking kost 25.000 euro. Een gebruiker moet nu beslissen om al dan niet over te gaan tot actie.

Doet hij of zij dat niet, dan is de verwachte schade 25 procent van een miljoen euro, oftewel 250.000 euro. Worden wél maatregelen genomen, dan is het totaal van de verwachte schade en kosten 25 procent van 800.000 euro plus 25.000 euro, oftewel 225.000 euro (zie tabel). Het loont in dit geval dus om actie te ondernemen.

#### De crisismanager, niet de hydroloog, beslist

Een kansverwachting biedt de mogelijkheid de verantwoordelijkheden van de hydroloog - die de verwachting opstelt - te scheiden van degene die een maatregel moet nemen. Wordt een beslissing enkel en alleen genomen op basis van een gemaakte verwachting, dan wordt die in het geval van puntverwachtingen eigenlijk al genomen door het rekenmodel en daarmee door de hydroloog. In het geval van kansverwachtingen wordt door de hydroloog een kansverdeling gemaakt, op basis waarvan door een verantwoordelijke crisismanager besloten kan worden tot het al dan niet nemen van een maatregel.

De verwachtingswaarde van een beslissing is afhankelijk van de kans op hoogwater, de potentiële schade, de mogelijkheid tot het reduceren daarvan en de kosten die daarvoor gemaakt moeten worden. De verhouding van de genoemde schades en kosten zullen voor elke gebruiker van de verwachtingen anders zijn. Kansverwachtingen maken het dan mogelijk verschillende gebruikers zelf te laten beslissen, om al dan niet te anticiperen op een dreigend hoogwater. Stel dat er in het eerder gegeven voorbeeld een tweede gebruiker is, waarvoor de schadebeperkende maatregelen niet 25.000 maar 75.000 euro kosten. Voor die gebruiker is de verwachtingswaarde dan 275.000 euro en loont het dan niet om maatregelen te nemen.

#### Het maken en evalueren van kansverwachtingen

In de hydrologie is voor het maken van kansverwachtingen het gebruik van ensembles populair. De spreiding van

hydro-meteorologische ensembles - het gevolg van onzekere begincondities in het gebruikte meteorologische model - is een maat voor de onzekerheid van een modelverwachting. Onzekerheden uit andere bronnen zijn te karakteriseren middels *post-processors*. Momenteel wordt onderzocht wat de beste manier is om beide methodes te combineren.

Uiteindelijk is het doel om een kansverwachting te maken die, gegeven betrouwbaarheid, scherp is. Betrouwbaar betekent dat de voorspelde kansen overeenkomen met waargenomen relatieve frequenties. Scherp betekent dat de voorspelde intervallen niet te breed zijn. Hoe smaller de intervallen, hoe makkelijker het is een beslissing te nemen.

De betrouwbaarheid van één enkele kansverwachting is niet te bepalen. De verwachting dat er 50 procent kans op neerslag is, wordt immers bewezen noch weerlegd door een droge dag. Door een groot aantal verwachtingen te vergelijken met bijbehorende waarnemingen, is de kwaliteit van de verwachtingen te meten. Daar is een groot aantal statistieken, vaardigheidsscores en grafische methoden voor beschikbaar.

#### Gereed voor toepassing in regionaal waterbeheer

De technieken om betrouwbare kansverwachtingen in de hydrologie te maken, zijn beschikbaar. Voor beide genoemde methoden zijn *best practices* ontwikkeld die in operationele systemen gebruikt worden. Bij Deltares is en wordt onderzoek gedaan naar het gebruik van het *Bayesian Forecasting System*, *Quantile Regression* en *Bayesian Model Averaging* in het voorspellen van rivierafvoeren en zee- en rivierwaterstanden. Deze *post-processors* zijn klaar om ook in het regionaal waterbeheer toegepast te worden.

Er zijn veel toepassingen denkbaar, waaronder kansverwachtingen van boezempeil, rivierafvoer, waterkwaliteit, buitenwaterstanden, grondwaterstanden. Het is de bedoeling om in het kader van Flood Control 2015 binnenkort enkele proefprojecten te beginnen. Daarnaast is het nodig pilots te ontwikkelen voor het implementeren van kansverwachtingen in operationele procedures: wie maakt de verwachting, hoe wordt die gevisualiseerd en gecommuniceerd, wie beslist en waarover, wat zijn de beslisseregels en hoe bepaal je de verwachtingswaarde van een beslissing? Ook een bijdrage aan het antwoord op deze vragen hopen we in Flood Control 2015 te kunnen leveren.

#### NOTEN

- 1) Glassheim E. (1997). Fear and loathing in North Dakota. *Natural Hazards Observer* nr. 6.
- 2) Krzysztofowicz R. (2001). The case for probabilistic forecasting in hydrology. *Journal of Hydrology* 1-4, pag. 2-9.
- 3) Pappenberger F. en K. Beven (2006). Ignorance is bliss: Or seven reasons not to use uncertainty analysis. *Water Resources Research* nr. 5.
- 4) Pielke R. (1999). Who decides? Forecasts and responsibilities in the 1997 Red River flood. *Applied Behavioral Science Review* nr. 2, pag. 83-101.
- 5) Reggiani P., M. Renner, A. Weerts en P. van Gelder (2009). Uncertainty assessment via Bayesian revision of ensemble streamflow predictions in the operational river Rhine forecasting system. *Water Resources Research* nr. 2.
- 6) Reggiani P. en A. Weerts (2008). A Bayesian approach to decision-making under uncertainty: An application to real-time forecasting in the river Rhine. *Journal of Hydrology* 1-2, pag. 56-69.
- 7) Todini E. (2004). Role and treatment of uncertainty in real-time flood forecasting. *Hydrological Processes* nr. 14.
- 8) Verkade J. en M. Werner (2011). Estimating the benefits of probability forecasting for flood warning. *Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss.* 8, pag. 6639-6681.
- 9) Weerts A., H. Winsemius en J. Verkade (2011). Estimation of predictive hydrological uncertainty using Quantile Regression: examples from the National Flood Forecasting System (England and Wales). *Hydrol. Earth Syst. Sci. nr.* 15, pag. 255-265.

**Jan Verkade (Deltares / TU Delft)**  
**Arnejan van Loenen, Joost Beckers,**  
**Albrecht Weerts en Elgard van Leeuwen**  
**(Deltares)**

#### Aanleveren van artikelen

Het gebeurt helaas regelmatig dat artikelen aangeleverd worden die niet compleet blijken te zijn of waarvan niet de definitieve versie verstuurd wordt. Dat zorgt voor onnodig tijdverlies (als de redactie reeds begint met de beoordeling en verwerking van deze verhalen). Een vriendelijk verzoek daarom uw bijdrage pas te sturen als deze voor u definitief is en voorzien van eventuele illustraties conform de voorwaarden die de redactie hieraan stelt (hoge resolutie oftewel 300 dpi en een formaat van 10 x 15 cm bij een liggende foto). De meeste illustraties worden op 2 kolommen afgedrukt. Let hierop bij grafieken. Ze moeten dan nog leesbaar zijn.

Uiteraard dienen foto's en andersoortige illustraties - wanneer zij digitaal verstuurd worden - niet in een tekstbestand te zitten, maar in een los grafisch bestand (bij voorkeur jpg-bestanden voor foto's en excel-bestanden voor grafieken).