

stowa

# OPERATIONEEL BESLUITEN ONDER ONZEKERHEID



RAPPORT

2012  
16

OPERATIONEEL BESLUITEN ONDER ONZEKERHEID

RAPPORT

2012

16

ISBN 978.90.5773.550.9



# COLOFON

UITGAVE Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer  
Postbus 2180  
3800 CD Amersfoort

## AUTEURS

Arnejan van Loenen (Deltares)  
Marjolein de Jong (HKV Lijn in water)  
Jan Verkade (Deltares)  
Simone de Kleermaeker (Deltares)

## BEGELEIDINGSCOMMISSIE

Jan Gooijer (Noorderzijlvest)  
Jos Moorman (Aa en Maas)  
Albert Siebring (Hunze en Aa's)  
Matthijs van den Brink (Vallei en Eem)  
Joost Heijkers (Stichtse Rijnlanden)  
Jeroen van der Scheer (Regge en Dinkel)  
Kees Peerdeman (Brabantse Delta)  
Michelle Talsma (STOWA)

DRUK Kruyt Grafisch Adviesbureau

STOWA STOWA 2012-16

ISBN 978.90.5773.550.9

**COPYRIGHT** De informatie uit dit rapport mag worden overgenomen, mits met bronvermelding. De in het rapport ontwikkelde, dan wel verzamelde kennis is om niet verkrijgbaar. De eventuele kosten die STOWA voor publicaties in rekening brengt, zijn uitsluitend kosten voor het vormgeven, vermenigvuldigen en verzenden.

**DISCLAIMER** Dit rapport is gebaseerd op de meest recente inzichten in het vakgebied. Desalniettemin moeten bij toepassing ervan de resultaten te allen tijde kritisch worden beschouwd. De auteurs en STOWA kunnen niet aansprakelijk worden gesteld voor eventuele schade die ontstaat door toepassing van het gedachtegoed uit dit rapport.

# TEN GELEIDE

Recente gebeurtenissen, zoals het hoogwater van januari 2011 en evacuaties in januari 2012, laten zien dat waterschappen regelmatig beslissingen moeten nemen op basis van een schatting van de toekomstige situatie: een situatie die onzeker is. Beslissingen kunnen variëren van het oproepen van de buitendienst gedurende de nacht tot het inzetten van retentiegebieden en evacuaties. Vaak hebben de gevolgen veel impact, zoals de evacuatie van de Tolbertpolder in januari 2012 aantoonde.

Veel Nederlandse waterschappen maken dagelijks verwachtingen van de waterstanden in hun beheersgebieden. Deze inschatting van de toekomstige situatie in het watersysteem biedt belangrijke informatie in de aanloop naar en tijdens calamiteiten. Tot op heden zijn de meeste verwachtingen deterministisch van aard: er wordt een ‘beste schatting’ afgegeven. Echter, alleen in uitzonderlijke gevallen zal de toekomstige waterstand precies overeenkomen met de voorspelde waarde. De waterstandsverwachting is één van de belangrijke informatiebronnen die een bepaalde onzekerheid kent.

Bovenstaande gebeurtenissen én recente nieuwe ontwikkelingen op het gebied van hoogwatervoorspelling hebben geleid tot ‘Studie naar de invloed van onzekerheden op besluitvorming in operationele context’. Het project heeft als doel waterschappen beter in staat te stellen om onzekerheden in waterstandsverwachtingen te benutten bij bestuurlijke keuzes. Het project is uitgevoerd binnen het programma Flood Control 2015.

Het voorliggende rapport beschrijft de ervaringen die zijn opgedaan met het gebruik van kennis van onzekerheden tijdens calamiteiten. En een methode is ontwikkeld waarmee waterschappen zelf kansverwachtingen voor waterstanden kunnen maken en deze op kunnen nemen in hun Beslissings Ondersteunende Systemen. Aanbevelingen zijn gedaan om kennis over onzekerheden een te benutten in calamiteitenprocedures.

De directeur van de STOWA

ir. J.M.J. Leenen



# SAMENVATTING

Bij alle waterschappen komen situaties voor waar op basis van beschikbare informatie snel besluiten genomen dienen te worden. Deze informatie kent vaak onzekerheden, zeker als het hoogwaterverwachtingen betreft. Het globale doel van het voorliggende project is inzichtelijk maken hoe zogenaamde probabilistische voorspellingsmethoden bruikbaar zijn voor waterschappen om onzekerheden in de verwachtingen te kwantificeren.

In het eerste deel van het project zijn verschillende technieken onderzocht om de benodigde kansverdelingen te produceren. Post-processors nemen alle bronnen van onzekerheid op in de schatting en kunnen relatief eenvoudig worden toegepast in systemen waar voldoende data beschikbaar is, zoals bij de case bij Waterschap Noorderzijlvest. Om deze redenen is er voor gekozen om in dit project kansverwachtingen te produceren op basis van post-processors in het algemeen, en Quantile Regression in het bijzonder.

De geselecteerde methode is toegepast op het BeslissingsOndersteunend Systeem (BOS) van Waterschap Noorderzijlvest, dat in dit project als pilot diende. Er bleek echter niet voldoende relatie te zijn tussen gemeten en berekende waterstanden. De reden hiervoor was dat het hydrologisch model onvoldoende menselijke ingrepen in het watersysteem kan simuleren. Om deze reden is ervoor gekozen om gesimuleerde waterstanden te gebruiken. Deze bleken beter te correleren met berekende verwachte waterstanden. Om implementatie ook bij andere waterschappen mogelijk te maken is er een handleiding geschreven en zijn de gemaakte scripts en modules beschikbaar gesteld.

De gemaakte kansverwachtingen zijn gebruikt in een calamiteitenoefening, die is uitgevoerd bij Waterschap Noorderzijlvest. Het doel van de oefening was om te zien in hoeverre besluitvorming baat heeft bij inzicht in de onzekerheden. Als oefening werd een situatie nagebootst die zich in 2010 werkelijk heeft voorgedaan: een dreigende overstromingssituatie met een zeer korte voorspeltijd en een grote onzekerheid in de waterstandsverwachtingen. Om de afweging voor de besluitvormers lastiger te maken was er ook nog sprake van een groot evenement en een onstabiele kade. Zowel het Waterschaps Operationeel Team als het Waterschaps Beleids Team (met daarin onder andere de dijkgraaf) deden mee aan de oefening.

Een belangrijke conclusie die werd getrokken na de oefening was dat gedetailleerde informatie over onzekerheden bij deelnemers zonder inhoudelijke deskundigheid van verwachtingen en onzekerheden tot verwarring kunnen leiden. Het trainen in en afspraken maken over omgaan met onzekerheden en deze in procedures vast leggen kan dit voorkomen.

Veel van de deelnemers aan de oefening en andere aanwezigen vonden dat informatie over onzekerheden bij kan dragen aan een transparantere besluitvorming. Ook heeft het introduceren van onzekerheden geleid tot een genuanceerdere besluitvorming in de oefening bij waterschap Noorderzijlvest. Er is in de oefening een voorwaarschuwing uitgedaan met alternatief handelingsperspectief terwijl dit niet in de procedures staat. Aanwezige partners uit de veiligheidsregio's gaven aan ook behoefte te hebben aan inzicht in onzekerheden en de consequenties hiervan. Het liefst ontvangen ze deze informatie vroeg in het proces omdat zij ook andere gevolgen in kaart kunnen brengen waar het waterschap niet direct aan denkt.

Naast onzekerheden hebben de gevolgen (en de onzekerheden hierin) invloed op de besluiten. Het denken in kansen en gevolgen (risico's) is nu al impliciet aanwezig binnen crisisorganisaties, maar het effect van onzekerheden in de gevolgen wordt nog niet gestructureerd meegenomen.

De wisselwerking tussen de deskundige hydroloog en de beslisser tijdens de oefening bij Noorderzijlvest is mogelijk exemplarisch voor andere waterschappen. De oefening bij Waterschap Noorderzijlvest, inclusief de evaluatie, is daarmee een beproeving van het ontwikkelde concept voor het omgaan met onzekerheden in verwachtingen. Andere Nederlandse waterschappen kunnen voortborduren op de ervaringen en leerpunten die hieruit voortkomen. Wel is duidelijk dat er nog meer onderzoek gedaan moet worden naar het opnemen van onzekerheden in procedures en in training en opleiding.

# DE STOWA IN HET KORT

De Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer, kortweg STOWA, is het onderzoeksplatform van Nederlandse waterbeheerders. Deelnemers zijn alle beheerders van grondwater en oppervlaktewater in landelijk en stedelijk gebied, beheerders van installaties voor de zuivering van huishoudelijk afvalwater en beheerders van waterkeringen. Dat zijn alle waterschappen, hoogheemraadschappen en zuiveringsschappen en de provincies.

De waterbeheerders gebruiken de STOWA voor het realiseren van toegepast technisch, natuurwetenschappelijk, bestuurlijk juridisch en sociaal-wetenschappelijk onderzoek dat voor hen van gemeenschappelijk belang is. Onderzoeksprogramma's komen tot stand op basis van inventarisaties van de behoefte bij de deelnemers. Onderzoekssuggesties van derden, zoals kennisinstituten en adviesbureaus, zijn van harte welkom. Deze suggesties toetst de STOWA aan de behoeften van de deelnemers.

De STOWA verricht zelf geen onderzoek, maar laat dit uitvoeren door gespecialiseerde instanties. De onderzoeken worden begeleid door begeleidingscommissies. Deze zijn samengesteld uit medewerkers van de deelnemers, zonodig aangevuld met andere deskundigen.

Het geld voor onderzoek, ontwikkeling, informatie en diensten brengen de deelnemers samen bijeen. Momenteel bedraagt het jaarlijkse budget zo'n 6,5 miljoen euro.

U kunt de STOWA bereiken op telefoonnummer: 033 - 460 32 00.

Ons adres luidt: STOWA, Postbus 2180, 3800 CD Amersfoort.

Email: [stowa@stowa.nl](mailto:stowa@stowa.nl).

Website: [www.stowa.nl](http://www.stowa.nl)

# OPERATIONEEL BESLUITEN ONDER ONZEKERHEID

## INHOUD

	TEN GELEIDE	
	SAMENVATTING	
	STOWA IN HET KORT	
<b>1</b>	<b>INLEIDING</b>	<b>1</b>
	1.1 Achtergrond	1
	1.2 Doelstelling document	1
	1.3 Referenties	1
	1.4 Doelgroep	2
	1.5 Opdrachtgever	2
	1.6 FloodControl 2015	2
	1.7 Voorspellingssystemen	2
	1.8 Leeswijzer	3
<b>2</b>	<b>PROJECTAANPAK</b>	<b>4</b>
	2.1 Doelstellingen project	4
	2.2 Projectonderdelen	4
	2.2.1 Fase 1: Inventarisatie methoden en technieken	4
	2.2.2 Fase 2: Uitvoeren techniek voor kwantificeren onzekerheid	4
	2.2.3 Fase 3: Oefenen in omgaan met onzekerheden	5
<b>3</b>	<b>INVENTARISATIE VAN METHODEN</b>	<b>6</b>
	3.1 Methode bepaling onzekerheid	6
	3.2 Bestaande technieken	6
	3.2.1 Ensembletechnieken	6
	3.2.2 Post-processors	6
	3.2.3 Combinatie van ensembletechnieken en post-processors	7
	3.2.4 State en parameter-updating	7
	3.2.5 Combinatie van state en parameter-updating en ensembletechnieken	8
	3.3 Selectie van de methode	8

<b>4</b>	<b>REAL-TIME HYDROLOGISCHE KANSVERWACHTINGEN</b>	<b>10</b>
<b>4.1</b>	Configuratie	10
<b>4.2</b>	Hindcasting	10
<b>4.3</b>	Kalibratie van de post-processor	11
<b>4.4</b>	Probabilistische hindcasting	12
<b>4.5</b>	Implementatie in FEWS	12
<b>4.6</b>	Resultaten	12
<b>5</b>	<b>OEFENING EN EVALUATIE</b>	<b>13</b>
<b>5.1</b>	Beschrijving oefening	13
<b>5.2</b>	Oefendoelen	14
<b>5.3</b>	Aanpak oefening	15
<b>5.4</b>	Conclusies	16
	5.4.1 Invloed onzekerheden op besluitvorming	16
	5.4.2 Communicatie van onzekerheden	16
	5.4.3 Inpassing onzekerheden in bestaande procedures	17
	5.4.4 Organisatie oefening Noorderzijlvest	17
<b>5.5</b>	Aanbevelingen	17
	5.5.1 Procedures en onzekerheden	17
	5.5.2 Communicatie van onzekerheden	18
	5.5.3 Opleiding, Training en Oefenen	18
<b>6</b>	<b>CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN</b>	<b>19</b>
<b>6.1</b>	Conclusies	19
	6.1.1 Algemeen	19
	6.1.2 Kennisontwikkeling en toepassing	19
	6.1.3 Toepasbaarheid bij andere waterschappen	20
<b>6.2</b>	Aanbevelingen	21
<b>7</b>	<b>COMMUNICATIE</b>	<b>22</b>
<b>8</b>	<b>VERVOLG</b>	<b>23</b>
<b>8.1</b>	Procedures en onzekerheden	23
<b>8.2</b>	Communicatie van onzekerheden	24
	<b>APPENDICES</b>	
1	MEMO MEERWAARDE PROJECT VOOR NEDERLANDSE WATERSCHAPPEN	25
2	DEELRAPPORTAGE 1	29
3	DEELRAPPORTAGE 2	49
4	DEELRAPPORTAGE 3	103
5	FACTSHEET QUANTILE REGRESSION	133
6	COMMUNICATIE	135

# 1

## INLEIDING

### 1.1 ACHTERGROND

Bij alle waterschappen komen situaties voor waar op basis van beschikbare informatie snel besluiten genomen dienen te worden. Deze informatie kent vaak onzekerheden, zeker als het hoogwaterverwachtingen betreft. Deze verwachtingen zijn echter onzeker. Door deze onzekerheden in de hoogwaterverwachtingen te kwantificeren en specifiek te benoemen in de besluitvorming kan dat verschillende voordelen voor waterschappen opleveren:

- Completer beeld van mogelijke scenario's/ontwikkelingen
- Effectievere opschaling
- Betere afweging strategieën
- Transparante besluitvorming
- Verbetering van besluitvorming door bestuurders

In het project “Omgaan met onzekerheden” is in opdracht van de STOWA en in het kader van FloodControl 2015 onderzocht op welke wijze het beste met onzekerheden omgegaan kan worden. Tevens is een pilot uitgevoerd die zich richtte op Waterschap Noorderzijlvest. De pilot leverde veel kennis en informatie die ook voor andere waterschappen van grote waarde kan zijn.

### 1.2 DOELSTELLING DOCUMENT

Het voorliggende rapport is het eindrapport van het project. Het beschrijft de doelstellingen van het project, de gehanteerde aanpak om deze doelstellingen te bereiken en de resultaten van het project. Het is daarmee een bundeling van de verschillende eerder opgeleverde producten. Daarnaast gaat dit document in op het mogelijke vervolg van dit project en blikkt vooruit naar het symposium dat begin 2012 wordt georganiseerd.

### 1.3 REFERENTIES

Eerdere producten die de basis vormen voor dit rapport (zie Appendices):

- 1 “Meerwaarde project voor Nederlandse waterschappen”
- 2 Deelrapportage stap 1: “Inventarisatie van methoden en technieken voor het maken van kansverwachtingen”
- 3 Deelrapportage stap 2: “Real-time hydrologische kansverwachtingen – implementatierapport”
- 4 Deelrapportage stap 3: “Evaluatie omgaan met onzekerheden in besluitvorming – case waterschap Noorderzijlvest”

#### 1.4 DOELGROEP

Dit document is geschreven voor de partners van Flood Control 2015 (FC2015), Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer (STOWA) en de betrokken waterschappen. Het project richt zich in eerste instantie op waterbeheerders, maar de resultaten zijn mogelijk ook daarbuiten toepasbaar.

#### 1.5 OPDRACHTGEVER

Het voorliggende onderzoek is uitgevoerd in opdracht van Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer (STOWA). Voor de inhoudelijke begeleiding van het project vanuit de STOWA is een begeleidingscommissie opgericht (in het rapport aangeduid als BC), bestaande uit leden van de Adviesgroep Watersysteemanalyse van de STOWA en waterschappen.

#### 1.6 FLOODCONTROL 2015

Flood Control 2015 is een Nederlandse publiekprivate samenwerking op het gebied van crisismanagement tijdens (dreigend) hoogwater. Negen waterspecialisten en experts op het gebied van onder meer ICT ontwikkelen samen innovatieve, geïntegreerde oplossingen: modulair van opzet en wereldwijd inpasbaar in bestaande processen en systemen.

Hoogwaterbescherming draait nu primair om sterke dijken. Maar de grote winst zit in het slimmer maken van het totale systeem: dijk, mens én omgeving. Flood Control 2015 integreert deze drie in geavanceerde voorspellings- en beslissystemen. Hoogwaterbescherming wordt zo transparanter, sneller, beter. Zo neemt de veiligheid toe en nemen tegelijkertijd de kosten van het beheer van watersystemen flink af. Het voorliggende project is bekend als werkpakket 3 en maakt onderdeel uit van het projectcluster BETER VOORSPELLEN EN STUREN.

#### 1.7 VOORSPELLINGSSYSTEMEN

Deze studie richt zich op onzekerheden in hoogwatervoorspellingen. Deze voorspellingen zijn over het algemeen afkomstig uit grotendeels geautomatiseerde systemen. Deze systemen verzamelen continue allerlei data, zoals gemeten en verwachte neerslag, getijverwachtingen, gemeten waterstanden etc. De data worden met een vast interval als randvoorwaarden aan een hydrologisch model gegeven (in Nederland meestal SOBEK) dat vervolgens een berekening maakt. Het resultaat is een vertaling van de weersverwachting naar een verwachting voor het watersysteem. Voor de expertgebruiker is het uiteraard mogelijk om verschillende scenario's (meer/minder neerslag) en maatregelen door te kunnen rekenen. Veel hoogwatervoorspellingssystemen zijn gebaseerd op Delft-FEWS software.

Aangezien er gebruik wordt gemaakt van een beperkte hoeveelheid metingen, een model-schematisatie en van inherent onzekere neerslagverwachtingen, kennen de resultaten van de modelberekening ook onzekerheden. Deze onzekerheden zijn het uitgangspunt van deze studie. Dit wil echter niet zeggen dat de resultaten en uitgangspunten niet voor andere typen verwachtingen en onzekerheden bruikbaar zijn.



## 1.8 LEESWIJZER

Het volgende hoofdstuk behandelt de projectaanpak. Vervolgens wordt in hoofdstuk 3 de inventarisatie van methoden en technieken, voor het kwantificeren van onzekerheden, behandeld. Hoe deze methode is toegepast in de pilot is beschreven in hoofdstuk 4. In hoofdstuk 5 wordt vervolgens de oefening beschreven die is opgezet om te onderzoeken welke invloed informatie over onzekerheden had op besluitvorming in een calamiteit. Ook komt de evaluatie van de oefening aan de orde. De conclusies en aanbevelingen naar aanleiding van deze studie zijn vervolgens opgenomen in hoofdstuk 6. Hoofdstuk 7 bevat tot een opsomming van de promotie activiteiten die zijn ondernomen in het kader van deze studie en in hoofdstuk 8 wordt een blik geworpen op het vervolg op dit project.

# 2

## PROJECTAANPAK

### 2.1 DOELSTELLINGEN PROJECT

Bij alle waterschappen komen situaties voor waar op basis van beschikbare informatie snel besluiten genomen dienen te worden. Bij voorkeur houdt men daarbij rekening met de verwachte situatie en mogelijke ontwikkelingen. Deze verwachtingen zijn echter onzeker. Door onzekerheden te kwantificeren en toe te laten tot de besluitvorming kunnen voordelen voor waterschappen ontstaan. Het globale doel van dit project is inzichtelijk maken hoe probabilistische voorspellingsmethoden bruikbaar zijn tijdens besluitvorming voor waterschappen. Dit is op te splitsen in een aantal concrete doelstellingen.

- 1 Verkrijgen van inzicht in en kennis over methoden voor bepalen van onzekerheden van voorspellingen (gericht op operationeel waterbeheer)
- 2 Ervaring opdoen met de toepassing van een geselecteerde methode
- 3 Ervaren hoe informatie over onzekerheden in de praktijk kan worden toegepast tijdens de veilige setting van een oefening
- 4 Vertalen van de verkregen inzichten en ervaringen voor de pilot Noorderzijvest naar de overige waterschappen

### 2.2 PROJECTONDERDELEN

Om de doelstelling van dit project te behalen zijn vier projectonderdelen te onderscheiden:

#### 2.2.1 FASE 1: INVENTARISATIE METHODEN EN TECHNIEKEN

In deze fase is een inventarisatie gedaan van de bruikbare methoden en technieken om onzekerheden te kwantificeren door waterschappen en een analyse van hoe dit toepasbaar gemaakt kan worden bij waterschappen. De inventarisatie richtte zich op het kwantificeren van onzekerheden in de operationele context (FC2015). De inventarisatie heeft geleid tot een aanbeveling voor een haalbare methode om onzekerheden te kwantificeren die het beste aansluit bij de gewenste toepassing. De toe te passen methode is in overleg met de begeleidingscommissie (BC) van de STOWA geselecteerd.

#### 2.2.2 FASE 2: UITVOEREN TECHNIEK VOOR KWANTIFICEREN ONZEKERHEID

In overleg met de opdrachtgever is de geselecteerde onzekerheidsmethode uitgewerkt voor de case aangeleverd door waterschap Noorderzijvest. Hierbij zijn ook beperkingen zoals beschikbare data meegenomen. Op basis van (deels achteraf gegenereerde) deterministische HiRLAM voorspellingen is voor een aantal relevante locaties de voorspelling gekalibreerd.

### **2.2.3 FASE 3: OEFENEN IN OMGAAN MET ONZEKERHEDEN**

Het vertalen van de rekenresultaten inclusief onzekerheden naar een voor bestuurders/beslissers praktisch en volledig beeld vereist afstemming tussen de aanbieder van de informatie en de ontvanger van de informatie. Door te werken met onzekerheden is de verwachting dat bestaande procedures en werkafspraken moeten worden aangepast. Deze hypothese is getest in een calamiteitenoefening. In deze oefening kreeg Waterschap Noorderzijlvest te maken met een dreigende calamiteit. Hierbij werden ook de kansverwachtingen verstrekt aan de bestuurders.

# 3

## INVENTARISATIE VAN METHODEN

Dit hoofdstuk bevat een beknopte beschrijving van de inventarisatie van de methoden om kansverwachtingen te maken. Voor verdere documentatie wordt verwezen naar het deelrapport over dit onderdeel (zie appendix: Deelrapportage 1).

### 3.1 METHODE BEPALING ONZEKERHEID

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

- 1 De manier waarop de kansverwachtingen in het beslisproces worden gebruikt.
- 2 De benodigde rekentijd voor het maken van de kansverwachtingen.
- 3 De beschikbare middelen voor implementatie van de techniek.
- 4 De beschikbaarheid van historische data.
- 5 Het “black-box”-gehalte van de gebruikte techniek.

### 3.2 BESTAANDE 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, state- en parameter updating.

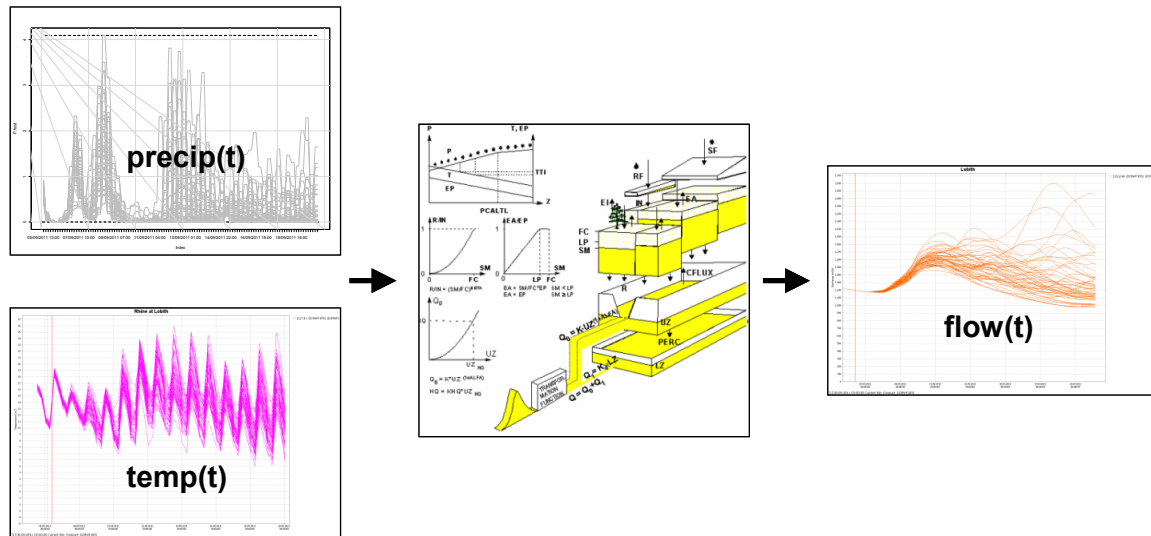
#### 3.2.1 ENSEMBLETECHNIKEN

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 zogenaamde “butterfly effect”). Bij 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.

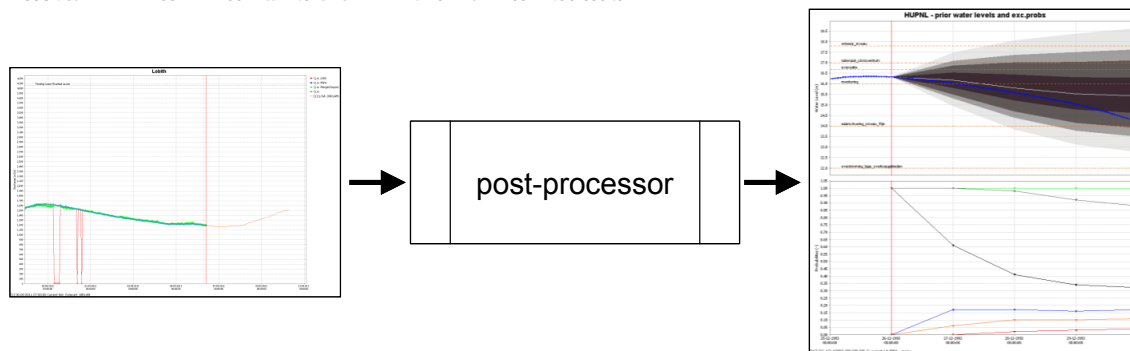
#### 3.2.2 POST-PROCESSORS

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

FIGUUR 3.1 SCHEMATISCHE WEERGAVE VAN HET PRINCIPE VAN ENSEMBLETECHNIKEN.



FIGUUR 3.2 SCHEMATISCHE WEERGAVE VAN HET PRINCIPE VAN POST-PROCESSORS



Een van de meest gebruikte post-processoren voor het kwantificeren van onzekerheden in waterstandsverwachtingen is Quantile Regression.

### 3.2.3 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 kunnen worden, staat echter nog in de kinderschoenen.

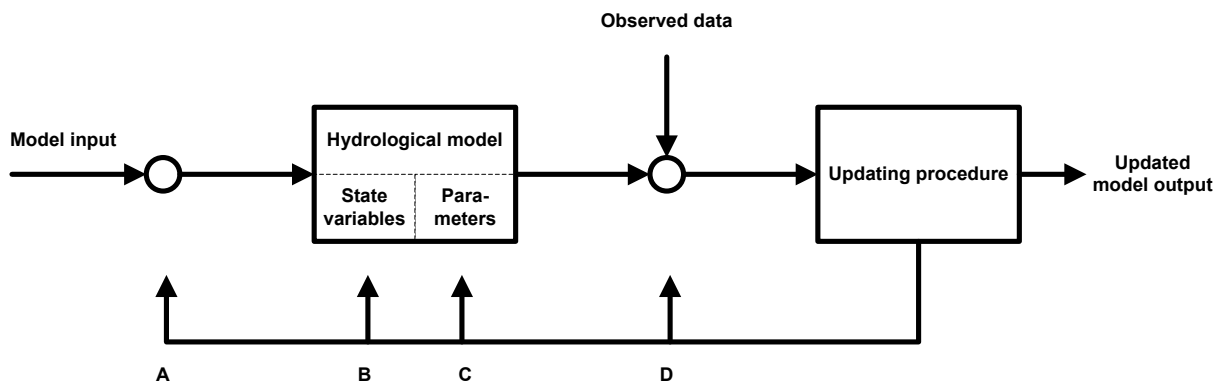
### 3.2.4 STATE EN PARAMETER-UPDATING

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).

Met uitzondering van het gebruik van postprocessing (zie ook 4.2.2) vragen ze elk dat het model na de initiële run één of meerdere malen gedraaid wordt.

FIGUUR 3.3 SCHEMATISCHE WEERGAVE VAN VIER AANPAKKEN IN DATA- ASSIMILATIE



Voor het gebruik van state-updating om kansverwachtingen te maken is het gebruik van filter-technieken (e.g. Ensemble Kalman filter, particle filter) noodzakelijk. Beschikbare implementaties en toepassingen worden momenteel verzameld in OpenDA software (OpenDA association).

### 3.2.5 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 de onzekerheden 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.

## 3.3 SELECTIE VAN DE METHODE

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 respectievelijk meteorologische verwachting en hydrologische verwachting. Daarmee is de laatste techniek vooral geschikt voor het schatten van onzekerheden voor de zeer nabije toekomst. Voor de beoogde toepassing zijn zichttijden van meer dan een dag noodzakelijk. Om deze reden is state-updating minder geschikt.

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.

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.

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. Kansverwachtingen op basis van ensembletechnieken zijn wel het makkelijkst uit te leggen. De andere technieken zullen goed toegelicht moeten worden.

Om voorgaande redenen is er voor gekozen 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 de uitgevoerde analyse geldig is voor de beoogde toepassing in de “proeftuin” Waterschap Noorderzijlvest. Voor andere waterschappen dient de analyse naar de meest geschikte methode opnieuw uitgevoerd te worden.



# 4

## REAL-TIME HYDROLOGISCHE KANSVERWACHTINGEN

In Fase 2 is de in de vorige fase geselecteerde methode voor het berekenen van kansverwachtingen toegepast op het BOS van Waterschap Noorderzijlvest. Er is daartoe een prototype gemaakt van een zogenaamde *post-processor* die in real-time kansverwachtingen van toekomstige waterstanden maakt. Bij het maken van kansverwachtingen met een post-processor wordt de in het verleden waargenomen onzekerheid gebruikt om een kansverwachting voor de toekomst te maken. De post-processor wordt gekalibreerd door historische reeksen van verwachtingen en waarnemingen te analyseren en op statistische wijze te karakteriseren. Zo wordt vastgesteld wat de relatie is tussen een modelverwachting en de –in het verleden waargenomen- model”fout”. Die fout wordt dan in de toekomst opgeteld bij de modelverwachting.

Het in dit project ontwikkelde prototype is generiek opgezet, zodat de gebruikte technieken relatief eenvoudig bij andere waterschappen kunnen worden ingezet. Omdat veel waterschappen gebruik maken van Delft-FEWS als systeem voor hydrologische verwachtingen, worden de kansverwachtingen gemaakt binnen Delft-FEWS. Die module is relatief eenvoudig voor andere lokaties binnen Noorderzijlvest, en andere FEWS systemen te gebruiken.

In dit hoofdstuk wordt kort beschreven hoe het prototype is ontwikkeld en toegepast. Voor details zie appendix Deelrapportage 2.

### 4.1 CONFIGURATIE

Voor het toepassen van de kansverwachtingen zijn bepaalde gegevens nodig en dienen er keuzes gemaakt te worden. Het gaat daarbij om:

- Locaties: voor welke locaties wordt de kansverwachting gemaakt?
- Zichttijden: tot hoever in de toekomst is een verwachting van belang?
- Predictor: op basis waarvan wordt de kansverwachting gemaakt?
- Alarmniveaus: welke alarmniveaus gelden er op de gekozen locaties?
- Visualisatie: hoe worden de kansverwachtingen gepresenteerd?

### 4.2 HINDCASTING

Kalibratie en validatie van de post-processor vindt in principe plaats op basis van overeenkomende tijdreeksen van waarnemingen en deterministische modelverwachtingen. Van de laatste is niet altijd een reeks voorhanden; in dat geval kunnen moeten de modelverwachtingen met terugwerkende kracht alsnog worden gemaakt. Zijn er voldoende modelverwachtingen dan kan deze stap worden overgeslagen.

In de case zijn de modelverwachtingen opnieuw gemaakt voor de jaren 2009 tot en met 2011. Deze verwachtingen zijn gematched met waargenomen waterstanden.

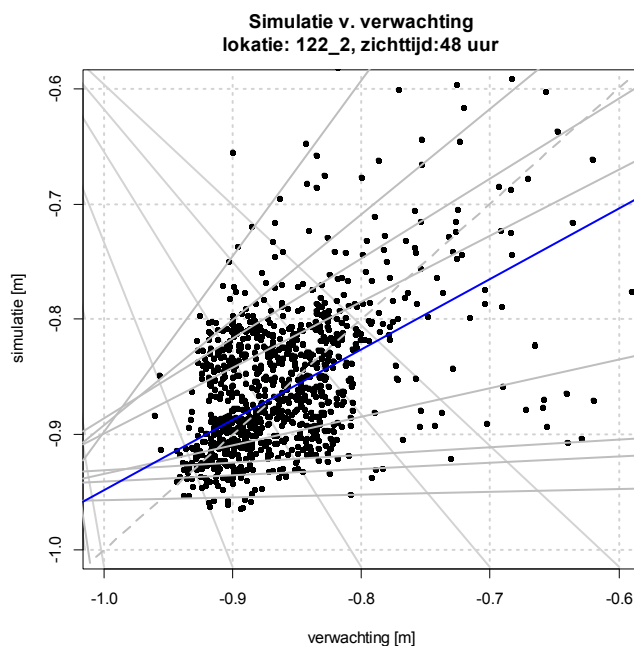
#### 4.3 KALIBRATIE VAN DE POST-PROCESSOR

Voor de kalibratie vindt eerst *data pairing* plaats: er worden corresponderende tijdreeksen van verwachtingen en waarnemingen gemaakt. Op basis daarvan wordt de post-processor gekalibreerd; in dit project is gekozen om dat te doen met de methode *Quantile Regression*.

Een visuele inspectie van de combinaties van tijdreeksen van verwachtingen en achteraf gedane waarnemingen gaf aanleiding om de correlatiecoëfficiënt tussen deze variabelen vast te stellen. Deze bleek erg laag. De reden hiervoor is dat er sprake is van een gestuurd watersysteem. De sturing vindt plaats door menselijke handelingen, met name de inzet van gemalen. Het gebruikte hydrologische model kan dit onvoldoende simuleren, waardoor onder normale omstandigheden de gemeten waterstanden teveel afwijken van gesimuleerde waterstanden.

Om deze reden is besloten om een andere kansverwachting te maken dan in eerste instantie was overeengekomen, namelijk: de kansverwachting van waterstandssimulaties op basis van waterstandsverwachtingen. In beide gevallen betreft het gemodelleerde waterstanden; het verschil tussen de twee is dat *simulaties* gemaakt zijn door *gemeten* neerslag te gebruiken, en dat bij *verwachtingen* gebruik wordt gemaakt van een *neerslagverwachting*. De aldus gemaakte kansverwachting geeft dan een indicatie van de onzekerheid als gevolg van het gebruik van onzekere neerslagverwachtingen. Andere onzekerheden (zoals bijvoorbeeld onzekerheden met betrekking tot menselijke ingrepen in het peilbeheer) worden dan buiten beschouwing gelaten.

FIGUUR 4.1 DE CORRELATIE TUSSEN GESIMULEERDE WATERSTAND OP BASIS VAN NEERSLAGMETINGEN MET GESIMULEERDE WATERSTANDEN OP BASIS VAN NEERSLAGVERWACHTINGEN VOOR LOCATIE OUDE RIETM EN ZICHTTIJD 48 UUR. OP BASIS VAN DEZE CORRELATIE ZIJN KWANTIELLIJNEN BEREKEND. VOOR IEDERE MOGELIJKE VERWACHTE WATERSTAND KAN HIERMEE DE KANS VAN OPTREDEN WORDEN WEERGEGEVEN



#### 4.4 PROBABILISTISCHE HINDCASTING

Met terugwerkende kracht zijn kansverwachtingen gemaakt voor het kalenderjaar 2011. Telkens is gekeken naar de kans op overschrijding van een bepaald waterstandsniveau. Vervolgens is gekeken of de waargenomen frequentie van overschrijding overeenkomt met de voorspelde kansen. Uit de vergelijking blijkt dat dit niet altijd het geval is. Echter, de gemaakte kansverwachtingen zijn een stuk beter dan de “naïeve” verwachting, die zegt dat de kans op overschrijding gelijk is aan de in het verleden waargenomen frequentie.

#### 4.5 IMPLEMENTATIE IN FEWS

De module voor het maken van kansverwachtingen is geïmplementeerd in het FEWS van Waterschap Noorderzijlvest. Ook zijn de methoden en de handleiding ontwikkeld waarmee waterschappen eenvoudig de kansberekeningsmethode zelf kunnen toepassen en de berekende kansverwachtingen kunnen implementeren in hun FEWS applicatie.

#### 4.6 RESULTATEN

Waterschap Noorderzijlvest beschikt nu over een FEWS applicatie die naast de waterstandsverwachtingen voor twee locaties de onzekerheden daarvan weergeeft. Belangrijk is dat er in de Nederlandse waterschapspraktijk ervaring is opgedaan met het opzetten en toepassen van deze kansverwachtingen.

Om deze ervaring goed tot zijn recht te laten komen zijn er verschillende producten gemaakt:

- Fact sheet waarin de methode Quantile Regression duidelijk wordt beschreven (zie Appendix 5).
- Handleiding voor het zelf uitvoeren van de methode (zie appendix 2).
- Scripts en module voor het zelf implementeren van de methode.

Aan de hand van deze producten kunnen andere waterschappen met beperkte inspanning zelf kansverwachtingen berekenen, en in het geval van een FEWS systeem, de visualisatie van de onzekerheid van verwachtingen configureren.

# 5

## OEFENING EN EVALUATIE

Dit hoofdstuk bevat een beknopte beschrijving van de oefening en de evaluatie. Voor verdere documentatie wordt verwezen naar het deelrapport over dit onderdeel (zie referentie appendix Deelrapportage 3).

### 5.1 BESCHRIJVING OEFENING

De oefening ‘operationeel beslissen met onzekerheden’ was een bestuurlijke oefening bij Waterschap Noorderzijlvest. Het betrof een verkenning van óf en hoe het expliciet inbrengen van onzekerheden in (waterstands)verwachtingen tijdens een calamiteit invloed heeft op besluitvorming en hoe de crisisorganisatie van waterschap Noorderzijlvest hier in de toekomst mee om wil gaan.

Deelnemers van de oefening waren leden van het operationeel team (WOT) en het beleidsteam (WBT) van waterschap Noorderzijlvest, ondersteund door de sectie waterbeheer. Daarnaast waren toeschouwers aanwezig die via een video verbinding mee konden kijken. Dit waren waterschappen die vanuit het project betrokken zijn als lid van de begeleidingscommissie (BC) en partners uit de veiligheidsregio (VR) Groningen.

Het scenario bestond uit een dreigende wateroverlast situatie in Leek en Bedum met een zeer korte voorspeltijd (<24 uur) en een grote onzekerheid in de waterstandsverwachtingen. Daarnaast was een instabiele kade waargenomen bij Leek en waren er grootschalige evenementen met veel bezoekers gepland in de bedreigde gemeentes.

Tijdens de oefening hebben het WOT en het WBT na elkaar vergaderd. In de eerste WOT vergadering werd de nieuwe type informatie (kansverwachting) geïntroduceerd, zonder dat er direct aanleiding was tot opschaling of andere acties. De tweede vergaderronde speelde 6 uur later. Inmiddels was de situatie verslechterd en werd er opgeschaald naar coördinatiefase 1. Aansluitend kwam de WBT bijeen, waarbij de Operationeel Leider van het WOT het WBT informeerde over de te verwachte waterstanden en de kansverwachting van die verwachtingen.



FIGUUR 5.2 HET WOT IS TE VOLGEN DOOR DE GASTEN VIA EEN VIDEOVERBINDING



FIGUUR 5.3 TEN SLOTTE KOMT OOK HET WBT BIJEN, TERWIJL HET WOT EN DE GASTEN MEEKIJKEN



## 5.2 OEFENDOELEN

Voor de oefening zijn drie oefendoelen benoemd, welke zijn vertaald in een aantal concrete leerdoelen.

1. Inzicht krijgen in de invloed van onzekerheidsinformatie op de advisering en besluitvorming binnen een WOT en WBT
  - a. Ervaring op doen met het beoordelen van de bruikbaarheid en toepasbaarheid van een kansverwachting
  - b. Ervaring opdoen met het voorbereiden van bestuurlijke beslissingen op basis van deze onzekerheidsinformatie
  - c. Ervaring opdoen met het baseren van een advies of besluit over strategische dilemma's op kansverwachtingen
2. Inzicht krijgen hoe onzekerheden mee te nemen in de communicatie tussen zowel operationeel team en beleidsteam, als tussen beleidsteam en Veiligheidsregio
  - a. Ervaring op doen met het helder en specifiek communiceren van onzekerheid in
    - i. het advies van WOT aan WBT, en in
    - ii. het advies en besluit van WBT aan de veiligheidsregio (VR)
3. Het herkennen van het belang en het bepalen van procedures hoe om te gaan met onzekerheden in de besluitvorming.
  - a. Ervaring op doen of/hoe er gebruik gemaakt kan worden van procedures in het bestrijdingsplan wateroverlast in combinatie met onzekerheidsinformatie.

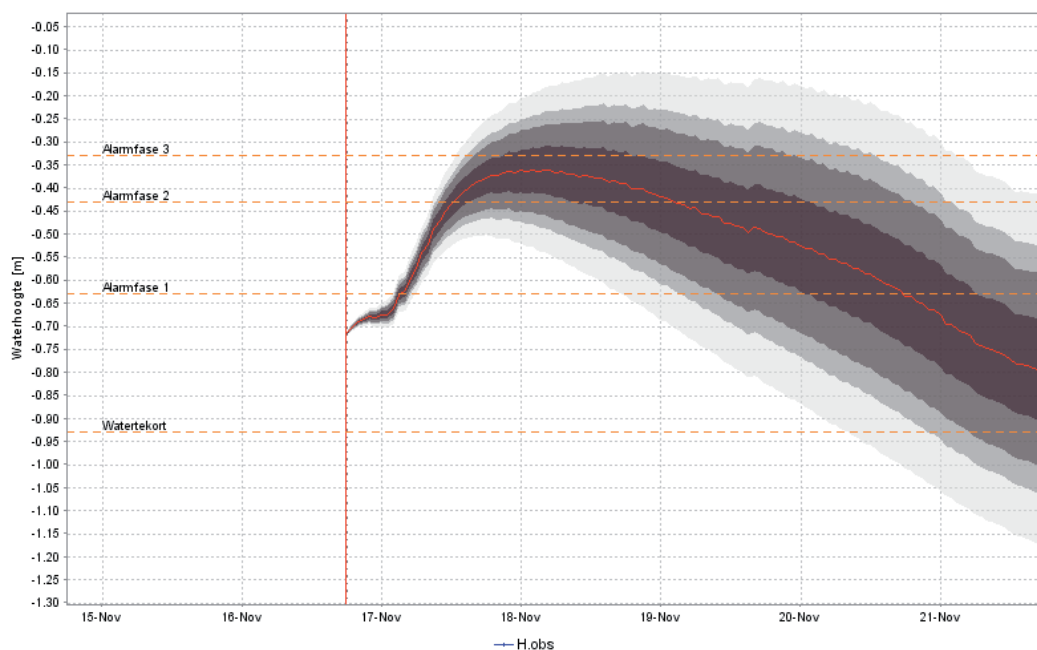
### 5.3 AANPAK OEFENING

Het oefenscenario is gebaseerd op werkelijk plaatsgevonden gebeurtenissen bij waterschap Noorderzijlvest. Op 28 augustus 2010 werd een grote plaatselijke regenbui voorspeld, bij een reeds verzadigd watersysteem. Het BOS gaf een verwachte waterstand die binnen een dag van alarmfase van 0 naar de hoogte alarmfase, alarmfase 3, zou oplopen. Uiteindelijk is de voorspelde regen niet gevallen, terwijl wel voorbereidingen werden getroffen die achteraf zijn bekritiseerd. De vraag vanuit het waterschap is dan ook hoe om te gaan met zulke onzekere situaties.

In de vergadering van het WOT werd de onzekerheid omtrent de verwachte waterstanden meegegeven in de vorm van een onzekerheidsband bij de verwachting. De ondersteunende sectie waterbeheer was aanwezig om deze nieuwe type van informatie toe te lichten. Dit is niet de gebruikelijke gang van zaken bij waterschap Noorderzijlvest. Er is expliciet voor deze aanpak gekozen ter ondersteuning van het tweede oefendoel (communicatie van onzekerheden). De informatie die het WBT ontving werd bepaald door de uitkomst van de WOT vergadering in de oefening. Hierin werd niet gestuurd vanuit de oefenleiding.

Tijdens de oefening waren observanten vanuit de oefenstaf aanwezig. Daarnaast werd er mee gekeken door andere waterschappen (vanuit de BC) en partners uit de algemene crisiskolom.

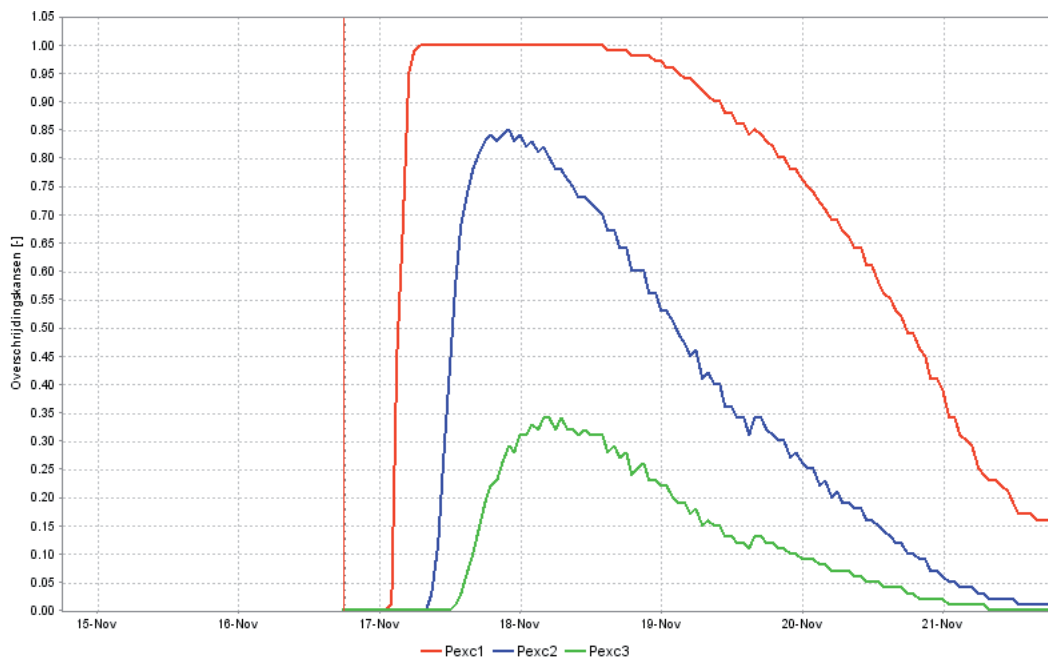
FIGUUR 5.4 DE GEPRESENTEERDE ONZEKERHEIDSBAND VOOR DE VERWACHTE WATERSTAND. HOE VERDER VAN DE DETERMINISTISCHE VERWACHTING, HOE MINDER GROOT DE KANS VAN WERKELIJK OPTREDEN VAN DE WATERSTAND





FIGUUR 5.5

DEZELFDE INFORMATIE, WAARBIJ NU ECHTER DE Overschrijdingskans VAN DRIE ALARMNIVEAUS IS GEVISUALISEERD.  
ROOD IS ALARMNIVEAU 1, BLAUW IS ALARMNIVEAU 2 EN GROEN IS ALARMNIVEAU 3



## 5.4 CONCLUSIES

Om een beeld te krijgen van hoe en op welke manier onzekerheden een rol kunnen spelen bij de besluitvorming is de oefening geëvalueerd op basis van verschillende onderdelen:

- Observaties van de observanten aanwezig in de vergaderruimte
- Evaluatieformulieren direct na de oefening ingevuld door de deelnemers en toeschouwers
- Plenaire discussie achteraf, voor de zogenaamde “First impressions”

In alle onderdelen waren vragen en aandachtspunten opgenomen met betrekking tot de leerdoelen. Het evaluatieformulier bevatte ook nog vragen over de opzet en uitvoering van de oefening in het algemeen. Onderstaande paragrafen bespreken de resultaten per oefendoel.

### 5.4.1 INVLOED ONZEKERHEDEN OP BESLUITVORMING

De presentatie van onzekerheidsinformatie leidde bij het WOT tot een vertraging van het proces. Het bleek moeilijk om de (overdaad aan) informatie te duiden, waardoor de overlegstructuur niet meer gevolgd werd. Andere onderdelen zoals communicatie en te nemen acties kwamen niet of nauwelijks aan bod in de evaluatie.

Bij het WBT werd de onzekerheidsinformatie door het WOT op een meer compacte wijze gepresenteerd. De extra informatie resulteerde in beter onderbouwde, meer genuanceerde, beslissingen en adviezen. In de oefening werd, als extra service aan een gemeente, een voorwaarschuwing uitgegeven. Dit is ongebruikelijk, maar werd als prettig ervaren en was mogelijk geworden door de verstrekte onzekerheidsinformatie.

### 5.4.2 COMMUNICATIE VAN ONZEKERHEDEN

De meeste aandacht tijdens de WOT overleggen ging naar het duiden van de onzekerheidsinformatie. Hierdoor werd duidelijk dat het presenteren van en informeren over de onzekerheden een belangrijke rol spelen in het proces. Ook als de onzekerheidsinformatie in een meer compacte vorm aan het WOT wordt gepresenteerd, bestaat de behoefte aan het vooraf opleiden en trainen in het omgaan met onzekerheidsinformatie van alle WOT leden.



De expliciete onzekerheidsverwachting hielp de bestuurder en het WBT bij nemen van verantwoordelijkheden. Uiteindelijk werd in de oefening informatie over de onzekerheden tot aan de burgemeester gecommuniceerd. Daar er geen burgemeesters aanwezig waren, is niet bekend hoe deze met de informatie zou omgaan.

De aanwezige partners van de veiligheidsregio gaven ook aan dat ze graag zo vroeg mogelijk informatie ontvangen over onzekerheden. Het is wenselijk om inzicht te hebben in het risico en de onderliggende factoren. Er moet daarom bij het opstellen van calamiteitenprocedures al worden afgestemd wanneer je welke informatie je aan welke partijen voor legt. In de plenaire discussie achteraf is hier alvast een voorschot opgenomen met betrekking tot communicatie van het WBT over scenario's met een kleine kans. Gesuggereerd werd dat een veiligheidsregio met name in het meest waarschijnlijke scenario geïnteresseerd is, terwijl betrokken bestuurders informeel ook kunnen worden geïnformeerd over scenario's met een kleine kans (worst case, best case). Door wel te informeren over minder waarschijnlijke scenario's kunnen voorbereidende acties alvast worden uitgezet, ook al hoeven die mogelijk niet uitgevoerd te worden.

#### **5.4.3 INPASSING ONZEKERHEDEN IN BESTAANDE PROCEDURES**

Het is belangrijk om onzekerheden een plek te geven in de procedures. Men voelt sterk de noodzaak om besliscriteria af te spreken (bijvoorbeeld, wanneer is een kans groot genoeg om actie te ondernemen). De mogelijke consequenties van een scenario spelen hierbij ook een belangrijke rol. De omvang van de gevolgen kunnen meer sturend zijn in de beslissing dan de kans. Bij grote gevolgen met een kleine kans gaat men ook over tot actie. Daarnaast dient iemand verantwoordelijk te zijn voor de onzekerheidsinformatie en de onzekerheidsanalyse

De implementatie van deze bevindingen is van groot belang om onzekerheden een plaats te geven binnen de crisisorganisatie van waterschap Noorderzijlvest. Deze procedures moeten vooraf geoefend worden zodat de teams er vertrouwd mee raken en inzicht verkrijgen wie wat doet.

#### **5.4.4 ORGANISATIE OEFENING NOORDERZIJLVEST**

De oefenopzet en de organisatie werden door alle aanwezigen als goed ervaren. Het scenario bevatte genoeg aanknopingspunten voor de oefendoelen. Het scenario werd door alle deelnemers als realistisch ervaren.

Er zijn ook verbeterpunten aangegeven. Het aantal meekijkers kan minder en er is meer aandacht nodig in de oefenopzet voor de wijze van introductie van het scenario. Omdat de oefendoelen vooral inhoudelijk waren ingestoken leverde dit soms frictie op met het vergaderproces.

### **5.5 AANBEVELINGEN**

Samen met de begeleidingscommissie van STOWA is besproken hoe de resultaten van dit project bij waterschap Noorderzijlvest ook ingezet kan worden bij andere waterschappen. Dit heeft geleid tot enkele concrete aanbevelingen, die niet alleen voor waterschap Noorderzijlvest gelden, maar voor alle waterschappen opgaan.

#### **5.5.1 PROCEDURES EN ONZEKERHEDEN**

Wanneer kansen of scenario's worden geïntroduceerd moeten de bestaande procedures hier op worden aangepast (zie sectie 5.4.3). Waterschappen zouden het beste gezamenlijk op

kunnen trekken in het omgaan met onzekerheden met een handboek of eenduidige procedures. Waar dit niet mogelijk is, omdat de omstandigheden of werkzaamheden te zeer afwijken is het in elk geval van belang dat de waterschappen van elkaar leren en opgedane kennis en ervaring delen.

### 5.5.2 COMMUNICATIE VAN ONZEKERHEDEN

Men verwacht dat niet alle waterschappen even open staan voor het werken met onzekerheidsinformatie als bij het waterschap Noorderzijlvest. Daarom is het des te belangrijker om van tevoren goed na te denken over hoe deze informatie helder aan de verschillende doelgroepen moet worden gecommuniceerd.

De volgende (niet uitputtende lijst van) aspecten kunnen worden onderzocht, waarbij verschillende doelgroepen verschillende wensen kunnen hebben:

- Scenario's: worst case, waarschijnlijk scenario en best case, op basis van
  - vooraf vastgestelde onzekerheid (of afgeleide kans), met bijbehorend gevolg
    - Worst case is het scenario met een kans van optreden van x %
  - Vooraf vastgesteld gevolg, met bijbehorende kans
    - Worst case is het scenario met een gevolg van omvang x
- Zichttijd: communicatie over de voorspelhorizon van het model aan de ene kant en de benodigde tijd voor te nemen acties aan de andere kant
- Gedetailleerde grafieken: Informatie zoals verstrekt tijdens de oefening

NB: Bij de oefening ging het over de onzekerheid van een verwachtte waterstand. Dit is niet bij alle waterschappen een relevante onzekerheid.

### 5.5.3 OPLEIDING, TRAINING EN OEFENEN

Het is belangrijk om alle betrokkenen op te leiden om onzekerheidsinformatie (in een crisis-situatie) te interpreteren. Dit betekent zowel het trainen van de specialisten, die de informatie moeten interpreteren en duiden, als het opleiden van de WOT en WBT leden die deze informatie moeten omzetten in een advies en/of besluit.

De opzet van de oefening bij waterschap Noorderzijlvest is een goede vorm gebleken om ook bij andere waterschappen toe te passen. In een volgende oefening kan worden geoefend met een andere vorm van onzekerheidsinformatie, bijvoorbeeld middels scenario's. Ook kunnen externe partners bij de oefening worden betrokken. Het is leerzaam om, via een dergelijke oefening, als waterschappen samen vaker met elkaar mee te lopen.

# 6

## CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

### 6.1 CONCLUSIES

#### 6.1.1 ALGEMEEN

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 omstandigheden, 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 zogenaamde 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.

Het globale doel van dit project was inzichtelijk te maken hoe kansverwachtingen voor waterschappen bruikbaar zijn tijdens besluitvorming. Dit globale doel is opgesplitst in de volgende concrete doelstellingen.

- 1 Verkrijgen van inzicht in en kennis over methoden voor bepalen van onzekerheden van voorspellingen (gericht op operationeel waterbeheer)
- 2 Ervaring opdoen met de toepassing van een geselecteerde methode
- 3 Ervaren hoe informatie over onzekerheden in de praktijk kan worden toegepast tijdens de veilige setting van een oefening
- 4 Vertalen van de verkregen inzichten en ervaringen voor de pilot Noorderzijlvest naar de overige waterschappen

In het project konden alle doelstellingen worden behaald. Het project heeft inzichten opgeleverd over het berekenen van kansverwachtingen, waarbij met name ervaring is opgedaan over het berekenen van kansverwachtingen voor een gestuurd watersysteem. Ook de oefening heeft inzichten opgeleverd over de wijze waarop onzekerheden meegenomen kunnen worden in het besluitvormingsproces tijdens calamiteiten. In de volgende paragrafen wordt hierop ingegaan.

#### 6.1.2 KENNISONTWIKKELING EN TOEPASSING

Met betrekking tot het eerste twee doelen (kennisontwikkeling over en toepassen van een methode voor het bepalen van onzekerheden van voorspellingen) concluderen we het volgende:

- 1 Uit de inventarisatie en afweging van de methoden bleek dat bij Waterschap Noorderzijlvest de methode Quantile Regression het best kon worden toegepast. Wel werd geconstateerd dat de afweging bij andere waterschappen anders kan uitvallen.
- 2 Uit de toepassing van de kansberekeningsmethode in de case blijkt dat de berekende verwachtingen onvoldoende overeenkomen met de werkelijkheid. De reden hiervoor is dat het hydrologisch model onvoldoende de menselijke ingrepen in het watersysteem simuleert. Dit is echter een probleem wat ook zou optreden bij andere methoden voor het berekenen van kansverwachtingen.

Onderdeel van het project was een oefening bij Waterschap Noorderzijlvest. De oefening had tot doel inzicht te krijgen in de invloed van onzekerheidsinformatie op de advisering en besluitvorming binnen de calamiteitenorganisatie, hoe deze informatie gecommuniceerd kan worden en herkennen welke rol onzekerheden in procedures zouden kunnen spelen. Ondanks dat de oefening niet representatief is voor alle waterschappen, kunnen er wel enkele interessante conclusies worden getrokken:

- 1 Zo was duidelijk dat een goede voorbereiding en uitvoering van de oefening ervoor heeft gezorgd dat de deelnemers zich volledig op de inhoud van de oefening konden richten. Dankzij de videoverbinding, waardoor gasten mee konden kijken, kon de oefening ongestoord plaatsvinden.
- 2 Daarnaast kan geconstateerd worden dat alle oefendoelen min of meer zijn behaald, waarbij moet worden aangetekend dat de conclusies geen algemeen karakter hebben.
- 3 Uit de evaluatie van de oefening met deelnemers, observanten en gasten bleek, in tegenstelling tot de verwachting, dat alle betrokkenen de beschikbaarheid van onzekerheidsinformatie als positief ervaren. Ook de partners van de veiligheidsregio gaven aan graag op de hoogte te worden gesteld over de onzekerheden van de verwachte waterstanden.
- 4 Wel is duidelijk geworden dat de vorm waarin deze informatie beschikbaar wordt gesteld verbetering behoeft. Deze moet vooral worden afgestemd op het gewenste gebruik. Zo bleken de inhoudelijke experts deze onzekerheidsinformatie makkelijker te kunnen interpreteren dan andere betrokkenen in de veiligheidskolom. Deze personen bleken de informatie liever op een andere wijze gepresenteerd te krijgen.
- 5 Er is tijdens de oefening alleen informatie over de onzekerheid van verwachte waterstanden verstrekt. Er zijn echter ook andere relevante bronnen van onzekerheid, zoals dijksterkte.

### 6.1.3 TOEPASBAARHEID BIJ ANDERE WATERSCHAPPEN

Met betrekking tot het vertalen van de ervaringen naar overige waterschappen concluderen we het volgende:

- 1 Vrijwel alle bestaande calamiteitenplannen (waaronder die van Waterschap Noorderzijlvest) houden nog niet expliciet rekening met het bestaan en gebruik van onzekerheidsinformatie. Hierdoor kunnen de bestaande procedures niet worden gebruikt als men onzekerheidsinformatie wil meenemen in de besluitvorming.
- 2 De wisselwerking tussen deskundige en beslisser bij Noorderzijlvest is mogelijk exemplarisch voor andere waterschappen. De oefening bij Waterschap Noorderzijlvest, inclusief de evaluatie, is daarmee een beproeving van het ontwikkelde concept voor het omgaan met onzekerheden in verwachtingen. Andere Nederlandse waterschappen kunnen voortborduren op de ervaringen en leerpunten die hieruit voorkomen.
- 3 Bij veel waterschappen in Nederland is in meer of mindere mate sprake van gestuurde watersystemen. Ook deze waterschappen kunnen geconfronteerd worden met een hydrologisch model dat onvoldoende menselijke ingrepen in het watersysteem simuleert.

## 6.2 AANBEVELINGEN

Het voorliggende project heeft tot veel nieuwe inzichten en ervaringen geleid. Er is echter ook duidelijk geworden dat het operationeel besluiten met onzekerheid niet zomaar eenvoudig is op te nemen in calamiteitenprocedures. Op basis van de in dit project opgedane ervaringen kunnen de volgende aanbevelingen worden gedaan:

- 1 Bij het implementeren van kansverwachtingen in een operationeel hoogwatervoorspellings-systeem dient goed geanalyseerd te worden welke methode voor het berekenen van de kansverwachtingen het best geschikt is.
- 2 Indien er gebruik wordt gemaakt van post-processoren, waardoor een hindcast nodig is, dient er voldoende tijd gereserveerd te worden. Het verzamelen van alle data en het herberekenen vergt ook de nodige inspanning.
- 3 Bij gestuurde watersystemen dient er goed onderzocht te worden in hoeverre het hydrologisch model het effect van menselijke ingrepen in het watersysteem simuleert.
- 4 In huidige calamiteitenprocedures in rampenplannen zijn nauwelijks beslisriteria opgenomen gebaseerd op kansverwachtingen en onzekerheden. Het is aan te bevelen om onzekerheid expliciet in de procedures te benoemen en niet enkel uit te gaan van gemiddelde, verwachtingswaarden en deterministische voorspellingen.
- 5 Train het omgaan met onzekerheden binnen de crisisorganisatie op alle niveaus (voorspeller, WOT, WBT, communicatie) zodat de organisatie in staat is om te gaan met de onzekerheden, de beslissingen kan leggen waar die horen, dat scenario's kunnen worden opgesteld, en risico's kunnen worden afgewogen. Deelnemers gaven aan dat het goed is protocollen af te spreken wie verantwoordelijk is voor welke informatie.
- 6 De manier waarop onzekerheidsinformatie wordt gepresenteerd is van groot belang gebleken, maar de optimale wijze om dit te doen is nog niet gestandaardiseerd. Onzekerheidsinformatie werd gepresenteerd in de vorm van grafieken waarin kansen van optreden van waterstanden en overschrijdingskansen van alarmniveaus werden weergegeven. Dezelfde informatie kan op een andere wijze worden gepresenteerd die beter aansluit bij de doelgroep. Daarbij bestaat er de behoefte aan inzicht in de mogelijke gevolgen, gebaseerd op risico's. Een mogelijkheid is het indikken van onzekerheidsinformatie in scenario's. Er dient daarbij rekening gehouden te worden met de groep aan wie de informatie wordt gepresenteerd. Er zijn al andere ontwikkelingen om onzekerheden expliciet te maken, bijvoorbeeld door te werken met zogenaamde what-if scenario's waar verschillende dreigingsscenario's gekoppeld worden aan verschillende responsstrategieën.

# 7

## COMMUNICATIE

Om het onderwerp “operationeel besluiten onder onzekerheid”, en het voorliggende project onder de aandacht van de Nederlandse waterschappen te brengen, zijn verschillende middelen gebruikt:

- In augustus 2011 is een artikel gepubliceerd in het vakblad H<sub>2</sub>O. Dit artikel is bijgevoegd als bijlage van deelrapport 1.
- Op de website van het STOWA is aangekondigd dat het voorliggende project wordt uitgevoerd (zie ook Appendix 6).
- In de nieuwsbrief van de STOWA is een interview met initiatiefnemer vanuit Waterschap Noorderzijlvest opgenomen (zie ook Appendix 6).
- In april 2012 wordt een symposium georganiseerd waarin de resultaten van het project worden gepresenteerd aan en besproken met geïnteresseerden van andere Nederlandse waterschappen.

# 8

## VERVOLG

Al in de aanloop van het project bleek dat meerdere waterschappen geïnteresseerd zijn in het oefenen van calamiteitensituaties. Vanwege de opzet van het project was het slechts mogelijk om bij één waterschap een casus uit te voeren. Deze oefening was daarbij met name gericht op het omgaan met onzekerheden, en niet zozeer op het omgaan met operationele beslissingsondersteunende systemen. In het voorgestelde projectvervolg zien we daarom vooral hier een aantal kansen. Op basis van de conclusies en aanbevelingen in dit rapport, stellen wij hier een aantal vervolgstappen voor. Hierbij is gelet op mogelijke aansluiting bij lopende FC2015 projecten.

### 8.1 PROCEDURES EN ONZEKERHEDEN

Zoals in sectie 5.5.1 is aangegeven en uit de evaluatie van de oefening blijkt, is het gewenst om onzekerheden op te nemen in calamiteitenprocedures. Er wordt daarom onderzocht of in 2012 een vervolgproject gestart kan worden waarin een praktische methode (door)ontwikkeld wordt waarmee calamiteitenteams van waterschappen kunnen bepalen welke onzekerheden voor hen een rol spelen bij verschillende calamiteiten en hoe ze deze kennis over onzekerheden kunnen inbedden in het besluitvormingsproces.

In het FC2015 project “Besluitvorming en coördinatie” wordt ook deels onderzoek verricht naar opnemen van onzekerheden in procedures. In 2012 wordt er daarvoor bij de Noord-Brabantse waterschappen een studie uitgevoerd naar de procedures die nodig zijn om met onzekerheidsinformatie over de waterstandsverwachtingen van de Maas om te gaan. Er kan bij dit project worden aangesloten.

### 8.2 COMMUNICATIE VAN ONZEKERHEDEN

Er is geen inventarisatie bekend van bruikbare methoden en technieken om onzekerheden te communiceren en presenteren door waterschappen. De inventarisatie dient zich te richten op de presentatie van onzekerheden in de operationele context. Deze zou moeten leiden tot een aanbeveling voor een haalbare methode om onzekerheden te presenteren die het beste aansluit bij de gewenste doelgroep. De resultaten van deze inventarisatie kunnen door de betrokken waterschap(pen) worden besproken met de relevante veiligheidsregio('s), om het aanbod van informatie af te stemmen op de informatiebehoefte.





APPENDIX 1

# MEMO MEERWAARDE PROJECT VOOR NEDERLANDSE WATERSCHAPPEN

## INLEIDING

Besluitvorming in operationele en/of calamiteuze situaties vindt plaats bij alle waterschappen. Een besluit in deze situaties wordt bij voorkeur genomen op basis van verwachtingen over de situatie en/of mogelijke ontwikkelingen. Onzekerheden in de verwachtingen spelen een belangrijke rol in dit besluitvormingsproces. Door onzekerheden te kwantificeren en toe te laten tot de besluitvorming ontstaat voor waterschappen naar verwachting de volgende voordelen:

- Completer beeld van mogelijke scenario's/ontwikkelingen
- Effectievere opschaling
- Betere afweging strategieën
- Transparante besluitvorming
- Verbetering van besluitvorming door bestuurders

In het project “Omgaan met onzekerheden” wordt onderzocht op welke wijze het beste met onzekerheden omgegaan kan worden. De pilot richt zich op Waterschap Noorderzijlvest, maar levert veel kennis en informatie die juist voor andere waterschappen van grote waarde kan zijn. In deze memo wordt uitleg gegeven waarom er voor één pilot is gekozen. Daarnaast wordt de meerwaarde van het voorgestelde project voor andere waterschappen toegelicht.

## METHODE BEPALING ONZEKERHEID

Er zijn verschillende bronnen van onzekerheden bij de berekening van hydrologische verwachtingen. Veel bestaande methoden die probabilistische verwachtingen produceren, richten zich op één bron van onzekerheid. Zo is er bijvoorbeeld de onzekerheid in modelparameters (bijvoorbeeld onderzoek “Bepaling modelonzekerheid voor het grondwatermodel van het Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden”). Sommige andere Beslissingsondersteunende Systemen richten zich op de onzekerheid in de weerverwachting, door gebruik te maken van de ensembleberekeningen uit het EMWCF-EPS-model. In operationele situaties is het van belang om juist alle bronnen van onzekerheid mee te nemen. Er zijn methoden om al deze onzekerheden te kwantificeren. Eén van de kansrijke methoden maakt gebruik van de voorspelfouten die in het verleden zijn gemaakt om de onzekerheid van voorspellingen af te leiden. Deze methode is eerder al door Deltares ontwikkeld in Engeland en Wales (Weerts et al, 2011) maar moet zijn toepassing nog vinden in de Nederlandse waterschapswereld.

De methode geeft betrouwbare (gekalibreerde) voorspellingen. Betrouwbare voorspellingen zijn nodig om beslissingen op te kunnen baseren. Omdat de toe te passen methode (ongeacht welke) nog zijn toepassing moet vinden in de Nederlandse waterschapswereld lijkt het derhalve dan ook zinvol om dit eerst bij één waterschap te testen en ontwikkelen. Dit aangezien de voorspelfouten uit het verleden voorhanden moeten zijn of op nieuw gegenereerd dienen te worden. Het testen en toepassen van deze in Nederland nieuwe methode wordt uitgevoerd in het eerste deel van het project.

## PILOT

Betrouwbare voorspellingen zijn noodzakelijk om goede beslissingen te kunnen nemen. Het is derhalve voor het tweede gedeelte van de studie noodzakelijk dat er betrouwbare voorspellingen voorhanden zijn gedurende een oefening. Een oefening met nieuwe procedures, waarbij rekening wordt gehouden met onzekerheden, echter zonder betrouwbare informatie over die onzekerheid zal blijven hangen in vage bewoordingen en aanbevelingen. Deltares en HKV bevelen dan ook een concrete case aan met duidelijke voorbeelden en praktijksituaties, waarbij de betrokkenen middenin een werkelijke situatie worden geplaatst.

Omdat de pilot tot doel heeft om inzicht te krijgen in de wijze waarop op onzekerheid gebaseerde procedures in de praktijk functioneren, heeft het weinig zin om deze bij meerdere waterschappen uit te voeren. Ten eerste moet de berekening van de onzekerheid van de voorspellingen overal opnieuw worden uitgevoerd, omdat deze realistisch dient te zijn. Hier zullen geen nieuwe inzichten en ervaringen worden opgedaan. Ten tweede, het uitvoeren van de oefening kost overal evenveel tijd: de meerwaarde van extra pilots is beperkt. Dit komt omdat de typen onzekerheden die we onderzoeken voor alle waterschappen in grote lijnen gelijk zijn. Ook de procedures van de waterschappen komen in grote lijnen overeen. Het gevaar bestaat daarbij dat, indien er meerdere pilots worden uitgevoerd, bij iedere oefening dezelfde fouten worden gemaakt, omdat er onvoldoende tijd en ruimte is om te leren van de andere pilots. Tot slot vereist het project dat er een goed werkend BOS operationeel systeem is (wat bij Waterschap Noorderzijlvest in elk geval zo is). De meeste waterschappen zijn nog niet klaar om zich te verdiepen in het omgaan met onzekerheden: zij willen liever eerst over de schouder kijken bij andere waterschappen. Waterschap Noorderzijlvest staat wel in de startblokken om verder te gaan.

### **MEERWAARDE VOOR ALLE WATERSCHAPPEN**

In het eerste deel van het project wordt een inventarisatie gedaan van geschikte methoden om onzekerheid te bepalen. Hieruit moet blijken of de kansrijk geachte methoden ook daadwerkelijk geschikt zijn voor toepassing bij de waterschappen. Het bepalen van de meest geschikte methode is relevant voor alle waterschappen die in bezit zijn van een BOS. Het kwantificeren van onzekerheden geeft waterschappen zonder BOS echter ook inzicht in de mogelijkheden van omgaan met onzekerheden.

De implementatie van een methode voor het presenteren van de onzekerheid van verwachtingen levert de do's en dont's (zender deskundigheid), geschikt voor alle waterschappen. De methode levert daarnaast een overzicht van noodzakelijke elementen voor het meenemen van onzekerheden in de besluitvorming (ontvanger / beslisser), ingebed in procedures. De wisselwerking tussen deskundige en beslisser bij Noorderzijlvest is exemplarisch voor andere waterschappen. De oefening bij Waterschap Noorderzijlvest, inclusief de evaluatie, is daarmee een beproeving van het ontwikkelde concept voor het omgaan met onzekerheden in verwachtingen. De ervaringen en leerpunten die hieruit voorkomen zorgen ervoor dat andere waterschappen hierop kunnen voortborduren.

Concluderend zit de meerwaarde voor de Nederlandse waterschappen in:

- inzichten in en kennis over methoden voor bepalen onzekerheden van voorspellingen (gericht op operationeel waterbeheer), plus ervaring met de toegepaste methode
- voorbeeld procedures voor omgaan met onzekerheid in operationele situaties, gebaseerd op ervaring met en evaluatie van real-life oefening.
- Ervaringen opgedaan tijdens de oefening, waarop de andere waterschappen kunnen voortborduren.

Voor het genereren van deze meerwaarde is één pilot voldoende.



APPENDIX 2

# DEELRAPPORTAGE 1

## INVENTARISEREN VAN METHODEN EN TECHNIEKEN VOOR HET MAKEN VAN KANSVERWACHTINGEN



# 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.



# 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.

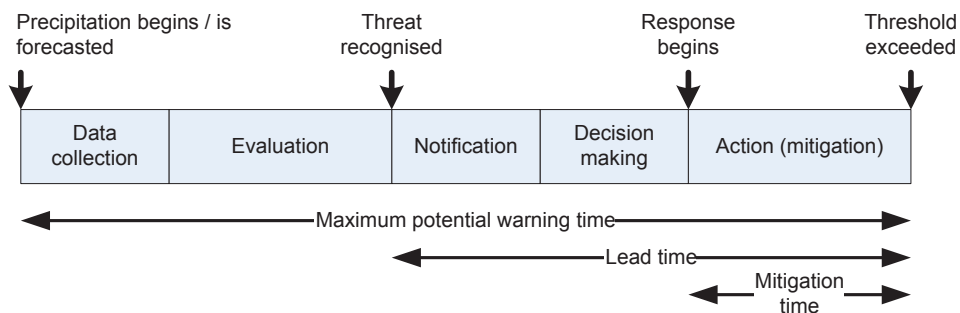
### 3.2 BENODIGDE REKENTIJD

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.

1 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.

### 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.

# 4

## BESCHIKBARE TECHNIEKEN

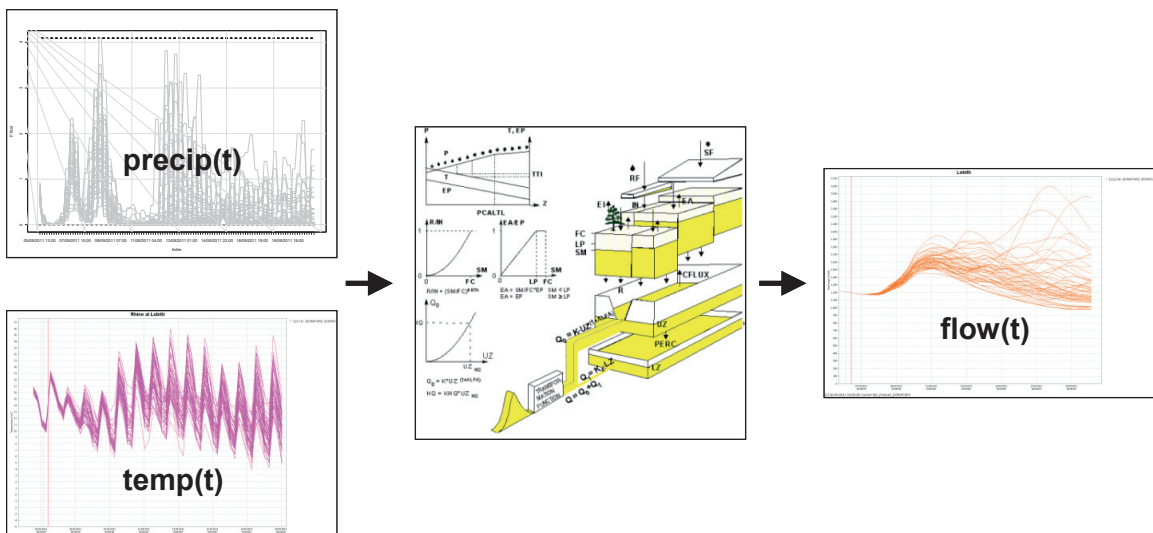
In grote lijnen zijn de volgende technieken beschikbaar om kansverwachtingen te produceren:

- 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 ENSEMBLETECHNIKEN



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:

- 1 ECMWF-EPS: 50+1 members, 14d lead-time, resolutie van één-tiende graad.
- 2 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.

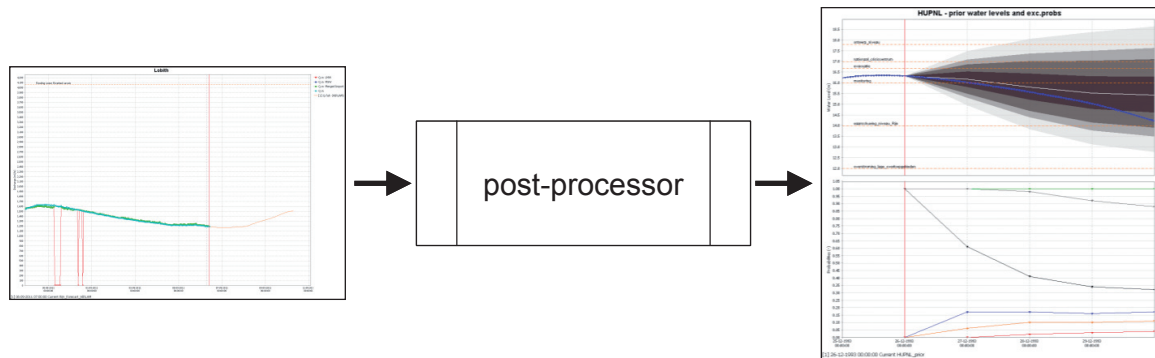
#### 4.3 GESCHIKTHEID VOOR NEDERLANDSE WATERSCHAPSPRAKTIJK

Passend bij toepassing	Ensembles maken duidelijk zichtbaar dat een verwachting onzeker is. Voor het afleiden van een kansverdeling uit een ensembleverwachting is een groot aantal ensemble members nodig. Geven kansverwachting waarin weliswaar de belangrijkste (toekomstige neerslag), maar niet alle bronnen van onzekerheid zijn meegenomen.
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 bij toepassing	<p>Post-processors maken goed zichtbaar dat een verwachting onzeker is.</p> <p>Post-processors kunnen zó geconfigureerd worden, dat het resultaat een gediscrète kansverwachting is die nodig is om risicoberekeningen te maken of onder- en overschrijdingskansen te berekenen.</p> <p>Geven kansverwachting waarin alle bronnen van onzekerheid zijn meegenomen.</p>
Rekentijd	<p>Rekentijd is kort; de meeste post-processors hebben slechts enkele seconden nodig om het foutenmodel toe te passen.</p>
Beschikbare middelen	<p>Techniek maakt gebruik van bestaande, deterministische verwachtingen als invoer.</p> <p>Techniek moet wel gecalibreerd worden; vaak is het nodig om een tijdreeks van gemaakte verwachtingen te construeren.</p> <p>Techniek moet als module geïmplementeerd worden in voorspellingsstelsel.</p>
Historische data	<p>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.</p>
"Black-box"-gehalte	<p>Hangt af van gebruikte implementatie:</p> <p>HUP is gebaseerd op Bayesiaanse revisie. De onderliggende wiskunde is vrij ingewikkeld en niet eenvoudig te doorgronden.</p> <p>Het principe van Quantile Regression kan middels eenvoudige spreidingsdiagrammen (waarnemingen versus gemaakte verwachtingen) uitgelegd worden.</p>

#### 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 hoe de technieken gecombineerd worden, staat echter nog in de kinderschoenen.

Passend bij toepassing	Visualisatie van onzekerheid: duidelijk. Het maken van een kansverdeling is goed mogelijk. Geven kansverwachting waarin alle bronnen van onzekerheid zijn meegenomen en op geavanceerdere manier worden berekend dan bij ensembleverwachtingen en post-processors alléén.
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

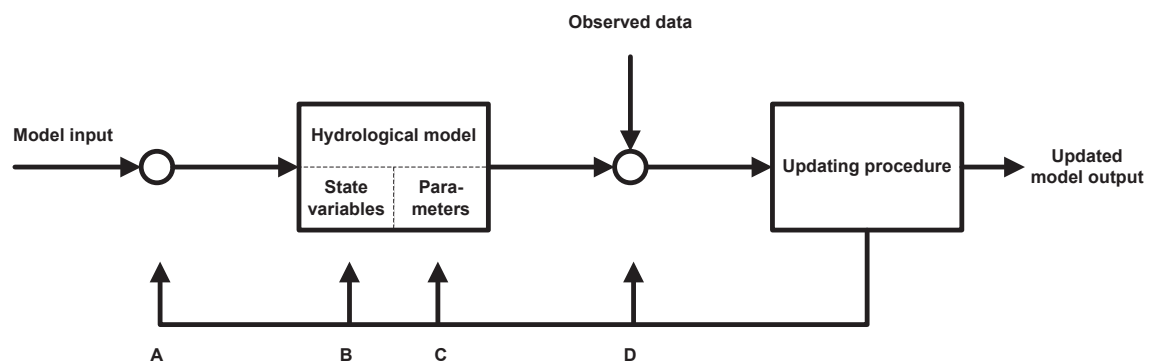
State en parameter-updating – ook vaak “data assimilatie” genoemd – heeft als doel om de informatie die verkregen wordt uit real-time waarnemingen mee te nemen in de model simulaties en verwachtingen. Met behulp van metingen (b.v. (grond)waterstand, afvoer, etc) kunnen modeltoestanden en modelparameters 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 één of meerdere malen gedraaid wordt.

FIGUUR 4.4 SCHEMATISCHE WEERGAVE VAN VIER AANPAKKEN IN DATA-ASSIMILATIE (WERNER ET AL. 2005; REFGAARD 1997)





Het gebruik van state-updating om kansverwachtingen te maken vraagt gebruik van zgn. filter-technieken (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* (*tipv probabilistische georiënteerde postprocessors*), 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 bij toepassing	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.

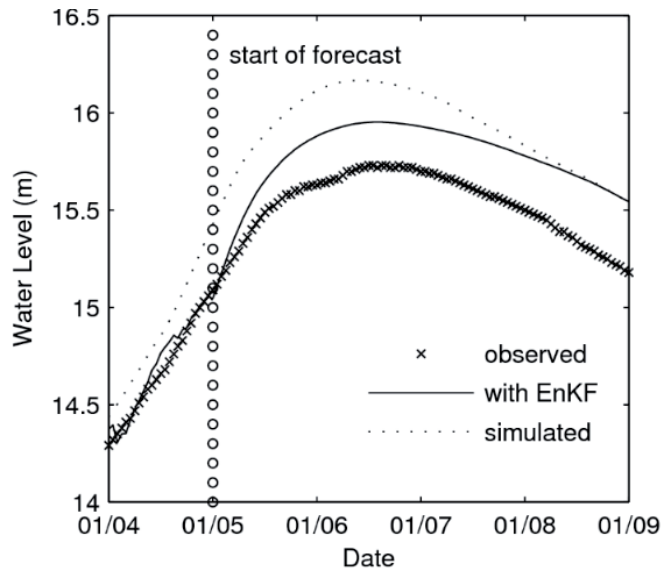
#### 4.11 COMBINATIE VAN STATE EN PARAMETER-UPDATING EN ENSEMBLETECHNIEKEN

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 bij toepassing	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 'data-behoefte' 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 overstromen 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.**

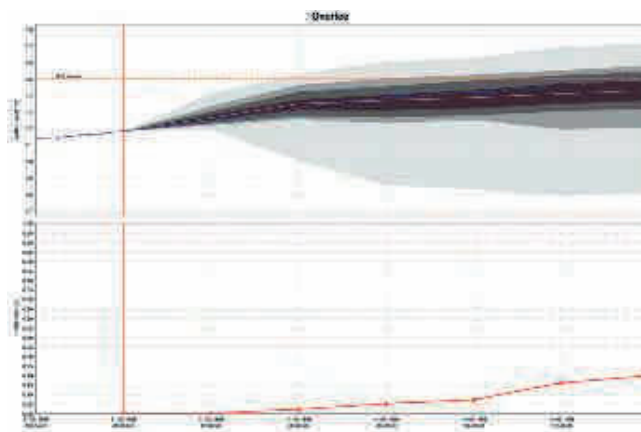
De toekomstige waarde van hydrologische variabelen is, zo bleek maar weer eens, onzeker. Die onzekerheid wordt weliswaar verkleind door het maken van verwachtingen of voorspellingen, maar is nooit volledig te elimineren. In het waterbeheer wordt veel gebruik gemaakt van puntverwachtingen, waarbij één 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 waarschuwingspeil 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 overschrijding als een 50 procent kans op

Grand Forks, april 1997. De overstroming uit de Red River resulteert in zo'n 100 miljoen schade, maar was niet voorspeld.



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



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).

APPENDIX 3

# DEELRAPPORTAGE 2

## REAL-TIME HYDROLOGISCHE KANSVERWACHTINGEN- IMPLEMENTATIE RAPPORT



# SAMENVATTING

De toekomstige waarde van hydrologische variabelen is onzeker. Die onzekerheid wordt weliswaar verkleind door het maken van verwachtingen of voorspellingen, maar kan nooit volledig geëlimineerd worden. 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 er een zekerheid gesuggereerd wordt die er niet is. Een alternatief is om de onzekerheid over toekomstige waterstanden, afvoeren etc. expliciet te maken, oftewel om een verwachting uit te drukken in *kansen*.

Een kansverwachting is een kansverdeling van de toekomstige waarde van een variabele. Die kansverdeling kan bijvoorbeeld gebruikt worden om de kans op hoogwater te bepalen: “Morgenmiddag om 12 uur is er 25% kans op overschrijding van het waarschuwingspeil op locatie X”.

In het kader van het project “Beslissen op basis van kansverwachtingen” is een zgn. post-processor gemaakt die een real-time kansverwachting maakt van waterstanden. Het gaat dan om een *conditionele* kansverdeling; de kansverwachting is gemaakt op basis van een deterministische waterstandsverwachting. De aldus gemaakte kansverwachtingen hebben betrekking op twee voor het operationele waterbeheer belangrijke lokaties in Waterschap Noorderzijlvest.

In eerste instantie is een analyse gedaan van de correlatie tussen à priori verwachte waterstanden en à posteriori waargenomen waterstanden. Deze correlatie bleek erg laag te zijn. De reden hiervoor lag voornamelijk in het feit dat het hydrologisch model onvoldoende menselijke ingrepen in het watersysteem simuleert. Dit maakt de deterministische waterstandsverwachting een ongeschikte predictor voor de in de realiteit opgetreden waterstanden.

In overleg met Waterschap Noorderzijlvest is daarom besloten om een ándere kansverwachting te maken dan die eerst was beoogd: een schatting van de kansverdeling van gesimuleerde waterstanden, gegeven een deterministische waterstandsverwachting. De gesimuleerde waterstanden worden niet beïnvloed door menselijk handelen. De correlaties tussen deze twee variabelen is heel redelijk gebleken.

Vervolgens zijn twaalf Quantile Regression (QR) modellen gecalibreerd: één voor elke combinatie van lokatie en zichttijd. Deze QR-modellen zijn vervolgens toegepast op een onafhankelijke validatieperiode. Evaluatie hiervan laat zien dat de door de QR-modellen voorspelde kansen van peiloverschrijdingen niet altijd exact overeenkomt met de waargenomen relatieve frequentie daarvan, maar wel veel beter zijn dan een naïeve verwachting zoals klimatologie.

# 1

## INLEIDING

### 1.1 ACHTERGROND

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.

Dit rapport is een product van Fase 2 van genoemd project en wordt als bijlage opgenomen in het hoofdrapport. Fase 2 betreft het toepassen van een methode voor het schatten van onzekerheid in real-time (waterstands-) verwachtingen, zoals die door waterschappen worden gemaakt. Bij wijze van pilot is deze methode toegepast bij Waterschap Noorderzijlvest; voor het real-time voorspellingssysteem is een implementatie van *Quantile Regression* gemaakt.

## 1.2 DOELGROEP

Dit rapport is geschreven voor hydrologen en applicatiebeheerders van waterschappen en adviesbureaus, die zich bezighouden met operationele systemen voor real-time waterstandsverwachtingen. Voor een bredere samenvatting van dit rapport wordt verwezen naar het hoofdrapport.

## 1.3 DOELSTELLING

In dit rapport wordt beschreven hoe kansverwachtingen voor de pilot Noorderzijlvest gemaakt worden middels Quantile Regression. De gebruikte scripts en configuratiebestanden, zowel voor de *offline* calibratie en validatie van de methode als voor de *online* Delft-FEWS module, zijn beschikbaar via [HTTP://PUBLICWIKI.DELTARES.NL/DISPLAY/~VERKADE](http://publicwiki.deltares.nl/display/~VERKADE).

# 2

## METHODE VOOR SCHATTEN VAN ONZEKERHEDEN

### 2.1 FEWS NOORDERZIJLVEST

Het waterschap maakt gebruik van FEWS Noorderzijlvest (van Heeringen, 2010) waarmee voorspellingen worden gemaakt voor de waterhoogtes op de boezem op basis van beschikbare metingen en verwachte neerslag en buitenwaterstanden.

De waterstandvoorspellingen worden gemaakt met een SOBEK model. Dit model bevat alle relevante waterlopen en kunstwerken van het stroomgebied, inclusief neerslagafvoermodellen van de deelstroomgebieden.

Het effect van neerslag op de waterhoogtes en debieten is sterk afhankelijk van de hydrologische en hydraulische toestand van een stroomgebied. Een bui van 20 mm kan al tot wateroverlast leiden indien de bodem verzadigd is, terwijl grotere buien in droge situaties nauwelijks tot (extra) afvoer leiden. Omdat dit fenomeen zo sterk bepalend is voor de kwaliteit van de voorspelling is het ook noodzakelijk dat het modelinstrumentarium de actuele toestand van het hydrologische model zo goed mogelijk beschrijft. Dit kan worden gedaan door het model bijvoorbeeld altijd enkele maanden terug in de tijd te laten beginnen om in te spelen. Dit kost echter veel rekentijd. Daarom wordt het model als het ware continu up-to-date gehouden door elke dag de afgelopen dag door te rekenen in een zogenaamde update-run of Historie berekening.

Het resultaat van deze run is een toestand (state) van het model (door middel van restart files) die gebruikt kan worden voor de voorspellingen die de komende dag zullen worden uitgevoerd.

Om optimaal gebruik te maken van de gemeten gegevens wordt de historieberekening (SOBEK\_Historie) uitgevoerd op het moment dat alle metingen van de afgelopen dag binnen zijn. De laatste meteorologische gegevens worden om circa 15:00 MET aangeboden, met gegevens tot aan 09:00 uur MET. Om 16:00 MET wordt daarom de historieberekening gedraaid vanaf de vorige beschikbare state tot aan 09:00.

Het SOBEK model wordt aangestuurd met de volgende datastromen:

- Neerslag;
- Verdamping;
- Buitenwaterstanden;
- Debieten op modelranden.

In de simulaties, ook de voorspellingen, worden altijd de meest recent beschikbare gegevens meegenomen. Het is dus mogelijk om een extra data inwinronde te laten uitvoeren om halverwege de dag de meest actuele gegevens op te halen. Deze zullen dan ook direct worden meegenomen in de eerstvolgende berekening.

## 2.2 TECHNIEKKEUZE

In Fase I van het voorliggend project is een inventarisatie gemaakt van technieken waarmee real-time hydrologische kansverwachtingen gemaakt kunnen worden (Verkade and van Loenen, 2011). Samengevat zijn dat ensembletechnieken, *post-processors*, data-assimilatie en enkele combinaties hiervan. Per techniek zijn ook de “voors en tegens” genoemd. Op basis van het in waterschap Noorderzijlvest beschikbare hydrologische-voorspellingssysteem is besloten om in voorliggend project kansverwachtingen te genereren met een *post-processing* techniek: *Quantile Regression*.

## 2.3 QUANTILE REGRESSION

*Quantile Regression* (QR) oftewel kwantielregressie is een wiskundige techniek waarmee de onderlinge verhouding tussen twee of meer variabelen gekarakteriseerd kan worden. In het geval van hydrologische verwachtingen kan op deze manier achteraf een “model” gemaakt worden van de verhouding tussen in het verleden gemaakte verwachtingen en nadien gedane waarnemingen. Onder de aanname dat de verhouding tussen de gebruikte variabelen in de toekomst onveranderd zal blijven, kan dit model met vooruitwerkende kracht worden toegepast in operationele voorspellingssystemen. In essentie wordt dan de in het verleden waargenomen onzekerheid opgelegd op een toekomstige verwachting.

Met QR worden zgn. voorwaardelijke regressiekwantielen beschreven. De methode verschilt van “klassieke” lineaire regressie in de doelfunctie die gebruikt wordt om regressievergelijkingen te bepalen. Bij lineaire regressie wordt hiervoor de *mean squared error* (MSE) en bij QR de *mean absolute error* (MAE) geminimaliseerd. Hierdoor wordt niet het voorwaardelijke gemiddelde van de beschouwde verzameling bepaald, maar de mediaan. Bijgevolg is QR minder gevoelig voor *outliers*, die mogelijk een relatief grote impact op de waarde van het gemiddelde kunnen hebben. Een ander voordeel is dat met QR ook een model voor de *verdeling* van de data gemaakt kan worden. Door de MAE te wegen met factoren  $\mathbf{t} \in \langle 0,1 \rangle$ , worden regressielijnen voor andere kwantielen dan de mediaan ( $\mathbf{t} = .5$ ) gevonden.

QR is beschreven in een aantal publicaties van Roger Koenker (Koenker and Basset, 1978; 2001; Koenker, 2005, 2010). Een eerste toepassing op het gebied van real-time hydrologische kansverwachtingen is beschreven in Weerts et al. (2011). Andere toepassingen zijn beschreven in Verkade en Schellekens (2010) en in Verkade en Werner (2011).



Omdat verondersteld mag worden dat er een lineaire relatie is tussen voorspelde en waargenomen waterstanden, is het hier gebruikte QR-model eenvoudig van opzet:

$$Y_{n,t} = a_{n,t} X_n + b_{n,t} \quad (1)$$

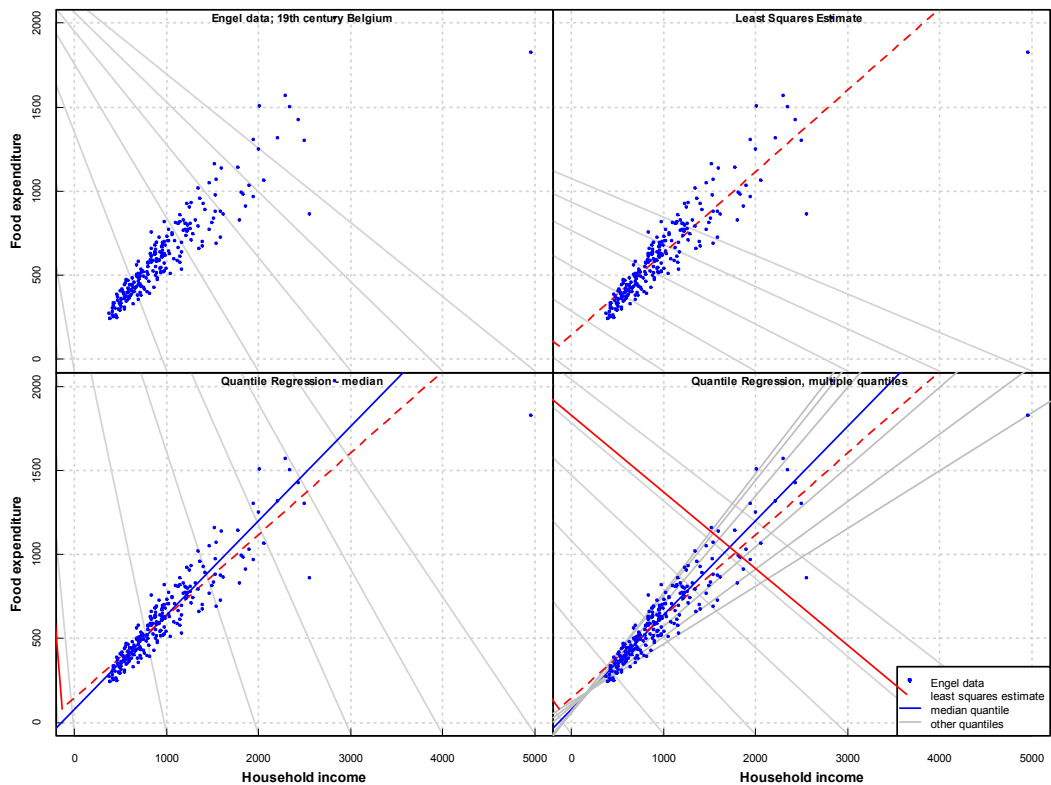
met

- Y waterstand [mNAP] behorend bij overschrijdingskans
- n zichttijd van de (kans-)verwachting [h],  $n \in (12, 24, 48, 72, 96, 120)$
- overschrijdingskans [-],  $n \in (.99, .95, .90, .75, .50, .25, .10, .05, .01)$
- a richtingscoëfficiënt van de kwantiellijn [-]
- X deterministische waterstandsverwachting [mNAP]
- b *intercept* oftewel punt waarop kwantiellijn de verticale as kruist [-]

## 2.4 VOORBEELD VAN QUANTILE REGRESSION

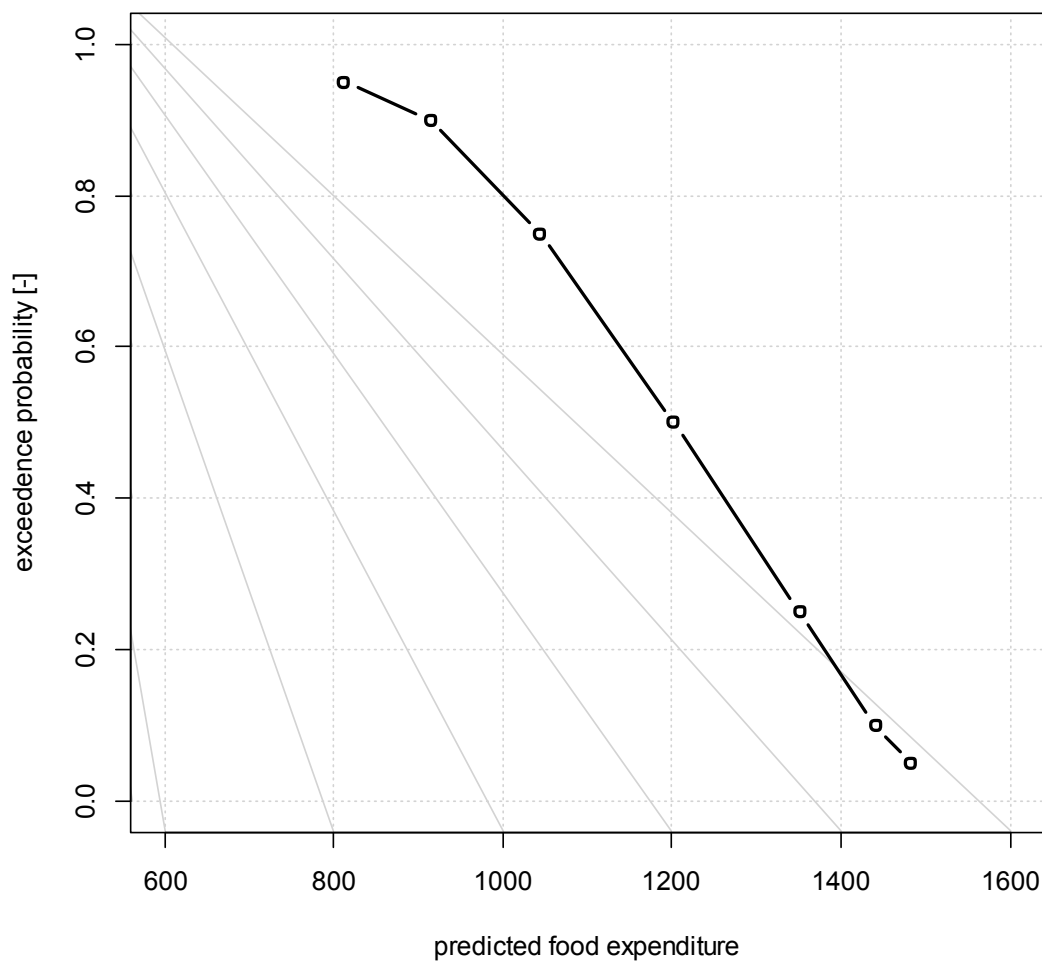
De toepassing van deze modellen is geïllustreerd in Figure 1. De figuur linksboven laat de dataset van Engel zien, die in de 19e eeuw onderzoek heeft gedaan naar het deel van het besteedbaar inkomen dat aan voedsel werd uitgegeven (Engel, 1857). In de figuur rechtsboven is de dataset beschreven middels klassieke lineaire regressie. De ligging van de regressielijn wordt sterk beïnvloed door twee *outliers*. In de figuur linksonder is de dataset beschreven door een met QR afgeleide mediane-kwantiellijn. De lijn beschrijft een traject waaronder en waarboven zich de helft van de datapunten bevindt. In de figuur rechtsonder zijn ook andere kwantiellijnen toegevoegd, behorend bij de 5%, 10%, 25%, 75%, 90% en 95% kwantielen.

FIGURE 1 VOORBEELD VAN HET STATISTISCH BESCHRIJVEN VAN EEN DATASET MIDDELS KLASSIEKE LINEAIRE REGRESSIE EN QUANTILE REGRESSION



Met behulp van de afgeleide kwantielen is het mogelijk om een schatting te maken van de spreiding van de predictand, gegeven de waarde van de predictor. Stel dat bekend is dat een huishouden een inkomen van 2000 heeft, dan kan op basis van de eerder geschatte kwantielen een kansverwachting worden gemaakt van de voedseluitgaven. De verdeling is af te lezen uit de calibratiefiguur (Figure 1, paneel rechtsonder) door een verticale lijn te trekken die de horizontale as (inkomen) snijdt bij 2000. Het snijpunt van de verticale lijn met de kwantiellijnen geeft dan de punten van de verdeling; die zijn hieronder nog eens weergegeven (Figure 2). Onder de aanname dat de data in de toekomst gelijk verdeeld zal zijn als in de kalibratieset, mag deze laatste figuur als verwachting gezien worden.

FIGURE 2 VERWACHTING VAN VOEDSELUITGAVEN, VOORWAARDELIJK OP EEN INKOMEN VAN 2000. DE VERWACHTING IS GEMAAKT MET DE IN DE VORIGE FIGUUR AFGEBEELDE KWANTIELLIJNEN



## 2.5 AANNAMES

Aan het maken van conditionele kansverwachtingen van waterstanden gaan twee veronderstellingen ten grondslag:

- 1 Er moet een redelijke correlatie zijn tussen de *predictor* en de *predictand*. Hier betekent dat dat de gemaakte deterministische waterstandsverwachtingen een redelijke voorspeller zijn voor de *à posteriori* waarnemingen.
- 2 De simultane verdeling moet onveranderd blijven in de tijd. Anders gezegd: de gevonden correlatie moet in de tijd blijven voortbestaan. Dit zal dan een gevolg zijn van het feit dat de gevonden correlatie niet alleen statistisch, maar ook causaal is.

## 2.6 CONFIGURATIE VAN KANSVERWACHTINGEN IN PILOT NZV

De configuratie van de kansverwachtingen is met waterschap Noorderzijlvest besproken en is als volgt:

- er worden kansverwachtingen gemaakt voor 2 lokaties: Oude Riet en “Elektraboezem 3”. De laatste is een composiet-lokatie en is een gemiddelde waterstand van vier punten in het boezemsysteem.
- de *predictand* oftewel de variabele waarvan een kansverwachting gemaakt wordt, is de waterstand ten opzichte van NAP:  $\varphi(h_n)$  (in woorden: de verdeling van de waterstand op tijdstip  $n$ ).
- de *predictor*, oftewel de variabele op basis waarvan de kansverwachtingen geschat wordt, is de deterministische waterstandsverwachting  $s_n$  die geproduceerd wordt door het operationele voorspellingssysteem van Waterschap Noorderzijlvest:  $\varphi(h_n | s_n)$  (in woorden: de verdeling van de waterstand op tijdstip  $n$ , gegeven de deterministische waterstandsverwachting voor dat tijdstip).
- Kansverwachtingen worden gemaakt voor de zichttijden  $t_n = t_0 + n\Delta t$  met  $n \in (12, 24, 48, 120)$  en  $\Delta t = 1$  uur. Voor de tussen deze zichttijden gelegen tijdstippen zal een lineaire interpolatie gemaakt worden.
- Voor 3 alarmniveaus zullen overschrijdingskansen bepaald worden: de alarmniveaus zijn voor beide lokaties gelijk.
- Visualisatie van de kansverwachtingen wordt gedaan zoals geïllustreerd is in (Verkade et al., 2011): een hydrograaf met een “onzekerheidspluim” en een figuur overschrijdingskansen
  - hydrograaf met overschrijdingskansen:  $n \in (.99, .95, .90, .75, .50, .25, .10, .05, .01)$
  - overschrijdingskansen van drie ter plekke geldende alarmniveaus

## 2.7 STAPPEN

Voor implementatie van de module die real-time kansverwachtingen produceert, moet een aantal stappen worden doorlopen. De stappen zijn weergegeven in onderstaande tabel. Elke stap wordt in een apart hoofdstuk van voorliggend rapport beschreven.

Stap	Beschrijving
1. Creëren van dataparen	Reconstrueren van dataparen van <i>predictands</i> en <i>predictors</i> oftewel van <i>waterstandsmetingen</i> en <i>deterministische waterstandsverwachtingen</i> .
2. Calibratie	Constructie van het QR-model
3. Validatie	Toepassing van het QR-model op deterministische verwachtingen
4. Evaluatie	Beoordelen van de kwaliteit van de gemaakte kansverwachtingen
5. Opzet van FEWS-module	Toevoegen van functionaliteit aan FEWS-Noorderzijlvest voor het <i>real-time</i> maken van kansverwachtingen

# 3

## CREËREN VAN DATAPAREN

Calibratie en validatie van het QR-foutenmodel vindt plaats op basis van overeenkomende tijdreeksen van de *predictand* (waargenomen waterstand) en *predictor* (deterministische modelverwachtingen). Hiermee wordt bedoeld dat er voor ieder tijdstip een à priori verwachting en een à posteriori waarneming is. Deze paring moet voor iedere lokatie en iedere zichttijd worden uitgevoerd.

TABLE 1 VOORBEELD VAN GEPAARDE DATASET, MET (VAN LINKS NAAR RECHTS) DE TIJDVECTOR, DE DETERMINISTISCHE WATERSTANDSVERWACHTING EN DE WAARNEMING. DIT VOORBEELD HEEFT BETREKKING OP VERWACHTINGEN MET EEN ZICHTTIJD VAN 72 UUR, EN OP LOKATIE OUDE RIET

200901040400	-0.827	-0.88
200901050400	-0.918	-0.79
200901060400	-0.894	-0.9
200901070400	-0.818	-0.9
200901080400	-0.899	-0.83
200901090400	-0.833	-0.92
200901100400	-0.851	-0.92
200901110400	-0.882	-0.9
200901120400	-0.846	-0.89
200901130400	-0.865	-0.93
200901140400	-0.832	-0.91
200901150400	-0.867	-0.91

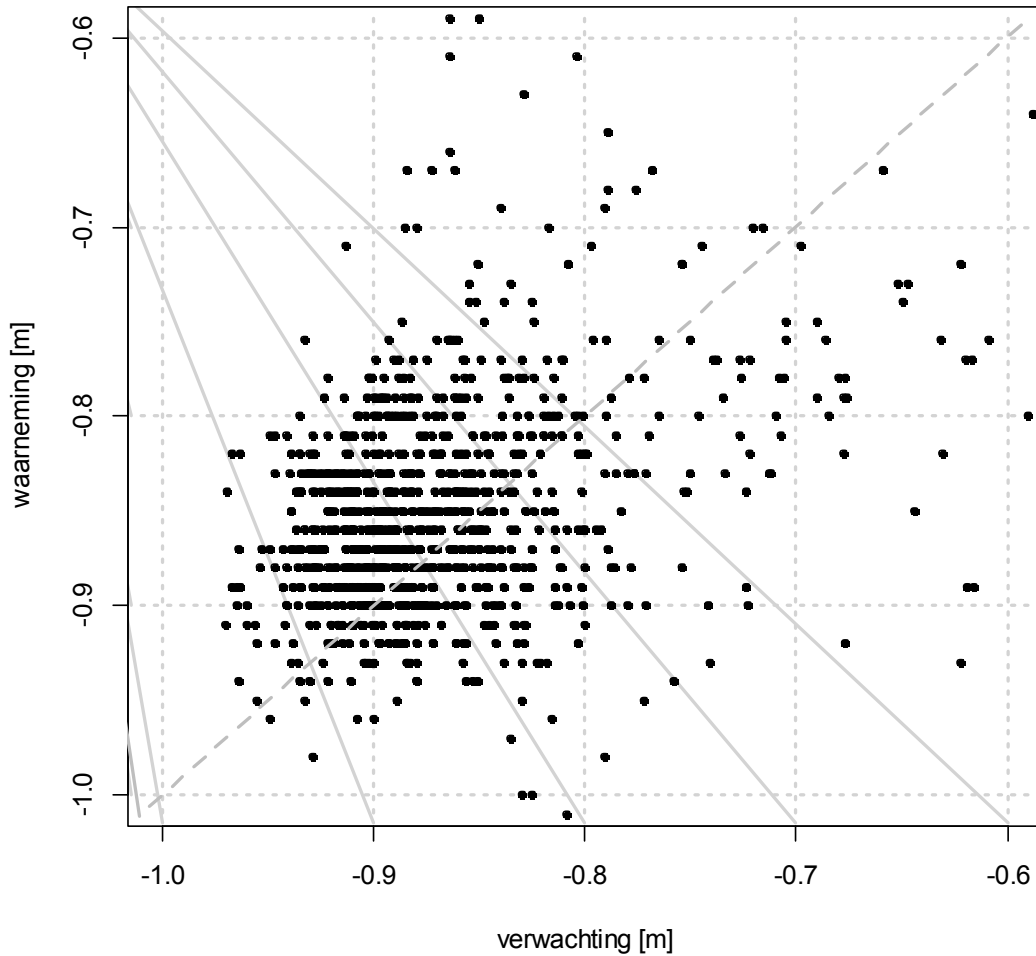
Als er geen gearcheiverde verwachtingen beschikbaar zijn, dan zal een reeks gereconstrueerd moeten worden middels hindcasting. Voor de voorliggende pilot bleek het nodig een dergelijke hindcast uit te voeren; deze is beschreven in de bijlage (Appendix 3 :).

### 3.1 DATAPAREN

Voor de calibratie van de QR-modellen is gebruik gemaakt van dataparen van (deterministische verwachtingen, waarnemingen) voor twee lokaties en opgedeeld naar zichttijden. In totaal zijn er dan 2 x 6 (lokaties x zichttijden) oftewel 12 dataparen beschikbaar. Een voorbeeld van een gebruikt datapaar is te zien in Figure 3. De volledige verzameling van dataparen is weergegeven in de bijlage (Appendix 1 :).

FIGURE 3

VOORBEELD VAN EEN SPREIDINGSDIAGRAM VAN EEN VERZAMELING DATAPAREN: HORIZONTAAL ZIJN DE DETERMINISTISCHE VERWACHTINGEN, EN VERTICAAL DE BIJBEHORENDE WAARNEMINGEN GEPROJECTEERD. IN GEVAL VAN PERFECTE VERWACHTINGEN – ONZEKERHEID IS DAN AFWEZIG – ZOUDE ALLE PUNTEN ZICH OP DE LIJN (DE DIAGONAAL) BEVINDEN



### 3.2 INTERPRETATIE VAN SPREIDINGSDIAGRAMMEN

De spreidingsdiagrammen van de dataparen geven een kwalitatief beeld van de kwaliteit van de gemaakte deterministische verwachtingen. Idealiter, dat wil zeggen in geval van perfecte verwachtingen, liggen alle punten op de lijn  $y = x$  (de diagonaal). De hier beschouwde dataparen liggen echter in sommige gevallen v er van die ideale lijn. Daarom is berekend wat de waarde van de correlatie  $\rho_{x,y}$  tussen verwachtingen en waarnemingen is.

$$\rho_{x,y} = \frac{\text{cov}(X,Y)}{\sigma_X \sigma_Y} = \frac{E(X - \mu_x)(Y - \mu_y)}{\sigma_X \sigma_Y} \quad (2)$$

De mogelijke waarde van de correlatiecoëfficient ligt tussen -1 en 1, waarbij 1 een perfecte correlatie weergeeft, -1 een perfecte negatieve correlatie en 0 de afwezigheid van correlatie.

In Table 2 zijn de correlatiecoëfficienten tussen deterministische verwachtingen en waarnemingen van alle beschouwde combinaties weergegeven. Uit de tabel kan afgelezen worden dat de correlatie in het beste geval laag (Oude Riet tot 48 uur; ELB tot 24 uur), en in veel gevallen afwezig is. In het laatste geval betekent dit dat de gemaakte verwachtingen vrijwel niet te gebruiken zijn om een uitspraak te doen over toekomstige waterstanden. Wat wél te zien is,

is dat de correlaties afnemen met toenemende zichttijd. Onder de aanname dat meteorologische verwachtingen - één van de grootste bronnen van onzekerheid bij het maken van hydrologische verwachtingen - ook onzekerder worden met toenemende zichttijd, was dat patroon te verwachten.

TABLE 2 CORRELATIES TUSSEN DETERMINISTISCHE VERWACHTINGEN EN WAARNEMINGEN. (STATION 122\_2 IS OUDE RIET; ELB3 IS DE ELEKTRABOEZEM 3)

Sum of cor leadtime	loclD	
	122_2	ELB3
12	0.31	0.1
24	0.3	0.11
48	0.17	-0.03
72	0.08	-0.02
96	0.05	0.01
120	0.03	0

Een vergelijkbare analyse is uitgevoerd voor de gevallen waarin de dataparen ook per maand zijn uitgesplitst (Table 3). Hierbij is een impliciete aanname gedaan dat de correlatie tussen verwachtingen en waarnemingen per maand kan verschillen, bijvoorbeeld doordat het voorspellingsmodel gekalibreerd kan zijn op situaties die in bepaalde periodes van het jaar vaker of minder vaak voorkomen dan in andere periodes.

De spreiding van de correlatiecoëfficiënten is groter dan wanneer géén uitsplitsing naar maanden heeft plaatsgevonden. Wat echter zorgwekkend is, is dat niet in alle gevallen een afname van correlatie met toenemende zichttijd te zien is. Mogelijk heeft dat te maken met de sterke afname van het aantal dataparen waarop de correlaties gebaseerd zijn (~100 à 150 per combinatie van station, maand en zichttijd). Mogelijk ook zijn de eerder gevonden correlaties vooral statistisch, en niet causaal van aard.

TABLE 3 CORRELATIES TUSSEN DETERMINISTISCHE VERWACHTINGEN EN WAARNEMINGEN, UITGESPLITST PER MAAND (STATION 122\_2 IS OUDE RIET; ELB3 IS DE ELEKTRABOEZEM 3)

month	station 122_2						station ELB3					
	12	24	48	72	96	120	12	24	48	72	96	120
1	0.26	0.27	0.15	0.07	0.34	0.39	-0.07	0	-0.17	-0.1	0.01	0.03
2	-0.05	-0.02	-0.09	-0.12	-0.18	-0.3	0.15	0.32	0.26	0.14	0.17	0.18
3	0.01	0.04	0.04	0.08	0.02	-0.05	0.17	0.01	-0.08	-0.21	-0.18	-0.32
4	-0.01	-0.08	-0.02	-0.14	-0.13	-0.12	-0.23	0.3	-0.12	-0.19	-0.02	-0.05
5	0.11	0.09	0.04	-0.05	-0.01	-0.04	0.05	0.32	0.09	-0.03	-0.01	-0.04
6	-0.01	0.27	0.35	0.29	0.34	0.29	-0.03	0.24	0.28	0.11	0.23	0.23
7	0.09	0.15	-0.05	-0.03	-0.08	-0.07	0.06	0.07	-0.09	-0.12	-0.04	0
8	0.6	0.61	0.32	0.1	0.03	0.02	0.2	0.22	0.01	0.04	0.03	0.03
9	0.47	0.43	0.27	0.22	0.17	0.24	0.21	0.19	-0.09	0.07	0.06	0.21
10	0.29	0.23	0.05	-0.04	0.06	0.14	0.21	0.19	-0.08	-0.01	0.15	0.14
11	0.71	0.58	0.5	0.3	0.13	-0.26	0.34	0.2	0.1	0.01	0.06	-0.17
12	0.5	0.5	0.25	-0.01	-0.03	0.01	0.3	0.19	0.04	-0.03	0	-0.04

### 3.3 CONCLUSIE EN ALTERNATIEVE CONFIGURATIE

De gevonden correlaties tussen à priori modelverwachtingen en à posteriori waterstandsmetingen zijn erg laag. Daarom wordt de deterministische waterstandsverwachting ongeschikt geacht als predictor voor het maken van een conditionele kansverwachting. In overleg met Waterschap Noorderzijlvest is besloten om de verdere analyse uit te voeren op basis van combinaties van verwachtingen en simulaties. In beide gevallen gaat het om modeluitkomsten; het verschil daartussen is dat bij *verwachtingen* een model geforceerd wordt met een à prior beschikbare neerslag*verwachting*, en bij simulaties met à posteriori beschikbare neerslag*metin-*

gen. Er wordt dan gezocht naar de toekomstige kansverdeling van de gesimuleerde waterstanden, gegeven de waterstandsverwachting:

$$\varphi(\bar{h}_n | s_n) \quad (3)$$

met  $\bar{h}_n$  de gesimuleerde waterstand (mNAP) en  $s_n$  de waterstandsverwachting, beide in mNAP.

De conditionele kansverwachting geeft dan een maat voor de onzekerheid in de te verwachten waarde van de gesimuleerde waterstand, gegeven de waterstandsverwachting. Daarmee is dat een maat voor de onzekerheid in de verwachting als gevolg van het forceren met neerslagverwachtingen.

Op basis van deze “nieuwe” relatie zijn opnieuw spreidingsdiagrammen gemaakt en correlaties vastgesteld. De spreidingsdiagrammen zijn opgenomen in de bijlage; correlaties zijn hieronder in tabelvorm weergegeven. Correlaties tussen simulaties en verwachtingen zijn - zoals verwacht - veel hoger en nemen af met toenemende zichttijd. Een vergelijkbaar patroon is waarneembaar bij de uitsplitsing van correlaties per maand.

TABLE 4 CORRELATIES TUSSEN WATERSTANDSVERWACHTINGEN EN SIMULATIES (STATION 122\_2 IS OUDE RIET; ELB3 IS DE ELEKTRABOEZEM 3)

leadtime	122_2	ELB3
12	0.81	0.65
24	0.7	0.48
48	0.46	0.12
72	0.38	0.07
96	0.34	0.08
120	0.3	0.07

TABLE 5 CORRELATIES TUSSEN WATERSTANDSVERWACHTINGEN EN SIMULATIES, UITGESPLITST PER MAAND (STATION 122\_2 IS OUDE RIET; ELB3 IS DE ELEKTRABOEZEM 3)

month	station 122_2						station ELB3					
	12	24	48	72	96	120	12	24	48	72	96	120
1	0.82	0.58	0.29	0.23	0.39	0.07	0.88	0.45	0.03	-0.05	0.07	-0.06
2	0.94	0.83	0.6	0.71	0.67	0.62	0.74	0.42	0.19	0.19	0.25	0.25
3	0.98	0.92	0.86	0.83	0.75	0.76	0.91	0.61	0.31	0.24	0.2	0.08
4	0.91	0.71	0.51	0.66	0.65	0.61	0.95	0.55	-0.15	-0.25	0.06	0.12
5	0.96	0.91	0.72	0.65	0.67	0.55	0.87	0.74	0.34	0.19	0.27	0.12
6	0.66	0.52	0.38	0.27	0.31	0.26	0.73	0.55	0.41	0.23	0.25	0.17
7	0.55	0.41	0.23	0.07	0.15	0.17	0.57	0.37	0.14	0.03	0.28	0.16
8	0.54	0.3	0.04	0.37	0.38	0.36	0.5	0.31	0.02	0.17	0.13	0.22
9	0.63	0.52	0.17	0.15	0.11	0.22	0.58	0.45	-0.04	0.06	0.03	0.07
10	0.56	0.44	0.23	0.11	0.08	0.14	0.36	0.21	0.01	0.01	0.03	0.05
11	0.88	0.82	0.69	0.55	0.43	0.24	0.71	0.55	0.28	0.16	0.14	0.05
12	0.92	0.77	0.62	0.37	0.31	0.22	0.83	0.59	0.3	-0.08	-0.12	-0.11

Omdat correlaties tussen waterstandsverwachtingen en -simulaties over het algemeen redelijk zijn, is besloten om deze variabelen als *predictor* respectievelijk *predictand* te gebruiken. Hoewel de uitsplitsing per maand in sommige gevallen aanzienlijk hogere correlaties geeft, is besloten om de kansverwachtingen *niet* ook conditioneel op kalendermaand te maken. De reden daarvoor is dat er simpelweg te weinig dataparen *per maand* zijn om de QR modellen op te kunnen kalibreren.

# 4

## CALIBRATIE VAN DE QR-MODELLEN

Calibratie betreft het afleiden van de QR-modellen, gebruik makend van reeksen van verwachtingen en waarnemingen.

### 4.1 SELECTIE VAN CALIBRATIEPERIODE

De set van beschikbare deterministische verwachtingen en simulaties bestrijkt (een deel van) de jaren 2009, 2010 en 2011. Er is besloten om de jaren 2009 en 2010 te gebruiken voor calibratie van de QR-modellen, en 2011 voor het valideren ervan. Voor calibratie en validatie zijn dan 958 respectievelijk 1222 dataparen beschikbaar.

### 4.2. QR-CALIBRATIE

Zoals genoemd zijn de QR-modellen gekalibreerd op de in de bijlage (Appendix 1 : ) getoonde dataparen die betrekking hebben op de jaren 2009 en 2010. Voor de kalibratie is gebruik gemaakt van het “Quantile Regression” package (NCAR - Research Application Program, 2010) dat beschikbaar is binnen de (*open source*) statistische programmeeromgeving R (R Development Core Team, 2011).

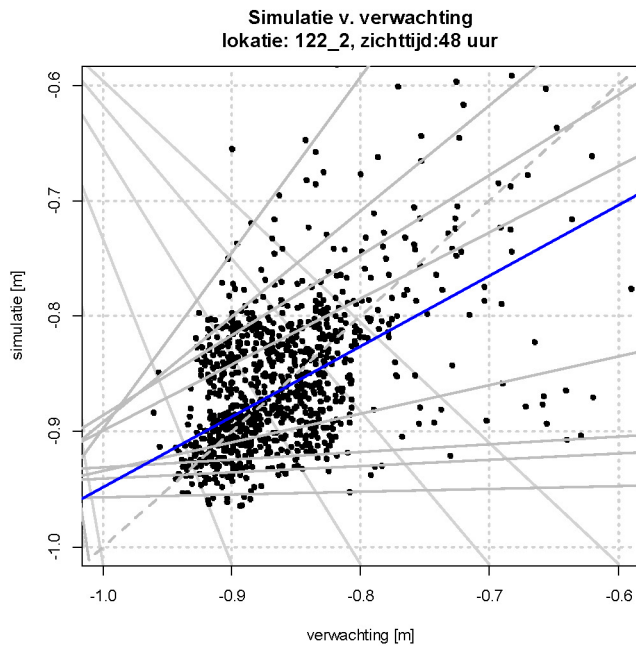
Bij calibratie wordt gezocht naar een beschrijving van een relatief eenvoudige simultane verdeling  $\varphi(\bar{h}_n, s_n)$ . Dit resulteert in 99 sets van coëfficiënten voor de kwantielen  $\tau \in (.01, .02, \dots, .99)$ . De sets bestaan uit de waarden  $a$  en  $b$  uit vergelijking  $\tau \in (.99, .95, .90, .75, .50, .25, .10, .05, .01)$ . De coëfficiënten voor een selectie van alle kwantielen is te zien in de bijlage (Appendix 2 : ).

Een voorbeeld van enkele kwantiellijnen is te zien in Figure 4. In de figuur zijn de dataparen geplotted met daarbij de mediane-kwantiellijn (blauw) en de kwantiellijnen die overeenkomen met overschrijdingskansen van (van boven naar beneden) 5%, 10%, 25%, 50%, 75%, 90%, en 95%.

Daar waar correlaties vrijwel afwezig zijn, resulteert de kalibratie van QR-modellen in kwantiellijnen met een richtingscoëfficiënt van ongeveer 0. Anders gezegd: de kwantielen zijn vrijwel onafhankelijk van verwachte waterstanden. De hierop gebaseerde kansverwachting convergeert dan naar de klimatologische spreiding van de modelsimulaties (in formule-notatie:  $\varphi(\bar{h}_n, s_n)$  convergeert naar  $\varphi(\bar{h}_n)$  als  $\rho(\bar{h}_n, s_n) \rightarrow 0$ ). Hierbij moet worden aangetekend dat dit de klimatologie is die in de voor kalibratie gebruikte dataparen is gevonden, oftewel de empirische verdeling van gesimuleerde waterstanden in de jaren 2009 en 2010. Deze periode is niet noodzakelijk representatief voor de lang-jarige klimatologische variabiliteit van gesimuleerde waterstanden.



FIGURE 4 VOORBEELD VAN ENKELE KWANTIELLIJNEN ( $r = 1\%, 5\%, 10\%, 25\%, 50\%, 75\%, 90\%, 95\%, 99\%$ ). DEZE FIGUUR HEEFT BETREKKING OP DE LOKATIE OUDE RIET (LOCATIONID = 122\_2) EN EEN ZICHTTIJD VAN 48 UUR



De richtingscoëfficiënt van de mediane lijn is licht stijgend. Hieruit mag geconcludeerd worden dat er sprake is van een lichte correlatie tussen verwachting en waarneming; dit correspondeert met eerdere vastgestelde correlaties. De richtingscoëfficiënt van de 'extremere' kwantielen (bijvoorbeeld van de 1% en 99% kwantielen) wijkt in sommige gevallen sterk af van die van de andere kwantielen. Dit is een artefact van kalibratie op een dataset van beperkte omvang; het gevolg is dat de betrouwbaarheid van deze kwantielen waarschijnlijk minder goed is dan die van de andere kwantiellijnen. Om die reden is besloten om de kwantielen kleiner dan 5% en groter dan 95% weg te laten uit de analyse.

# 5

## VALIDATIE VAN DE QR-MODELLEN

Nadat de QR-modellen zijn gecalibreerd, moeten ze worden gevalideerd. De QR-modellen worden toegepast op een reeks van (à priori) deterministische waterstandsverwachtingen waarvoor inmiddels ook (à posteriori) simulaties beschikbaar zijn.

### 5.1 SELECTIE VAN VALIDATIEPERIODE

De set van beschikbare deterministische verwachtingen en simulaties bestrijkt (een deel van) de jaren 2009, 2010 en 2011. Er is gekozen om de jaren 2009 en 2010 te gebruiken voor calibratie van de QR-modellen, en 2011 voor het valideren ervan. Voor calibratie en validatie zijn dan respectievelijk 958 en 1222 dataparen beschikbaar.

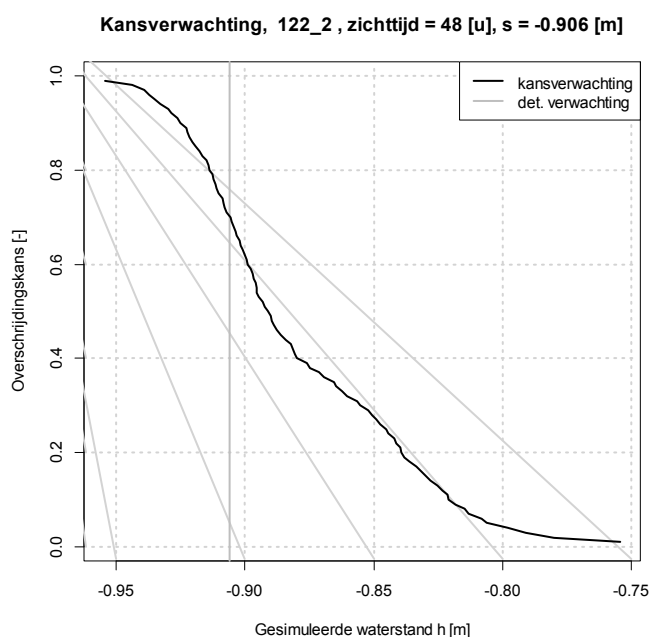
### 5.2 TOEPASSING VAN QR-MODELLEN OP VALIDATIESET

In R worden de eerder gemaakte foutenmodellen ( $a$  en  $b$  uit vergelijking ) gebruikt om voor elk kwantiel op basis van de reeks deterministische waterstandsverwachtingen ( $X$ ) de bijbehorende kwantielverwachting van gesimuleerde waterstand ( $Y | X$ ) te maken. De 99 voorwaardelijke kwantielen vormen samen de kansverwachting. Een voorbeeld daarvan is te zien in Figure 5.

Uit de set van 99 kwantielen kan een schatting gemaakt worden van de overschrijdingskansen van de alarmniveaus voor de beschouwde lokaties. Omdat de beschouwde kwantielen niet noodzakelijk samenvallen met de alarmniveaus, wordt deze schatting gemaakt middels lineaire interpolatie.

FIGURE 5

VOORBEELD VAN EEN KANSVERWACHTING



# 6

## EVALUATIE VAN DE GEMAAKTE KANSVERWACHTINGEN

De kwaliteit van de gemaakte kansverwachtingen wordt beoordeeld middels een aantal grafische methoden en *metrics*. Grofweg hebben die betrekking op (i) de kansverdeling, en (ii) de overschrijdingskansen van de alarmniveaus. De metrics en grafische verificatiemethoden zijn beschreven in Weerts en Verkade (2011). Hieronder wordt alleen volstaan met de waarde en/of figuren, en de interpretatie daarvan.

### 6.1 RELIABILITY PLOTS

Figure 6 en Figure 7 laten *reliability plots* zien van respectievelijk locatie Oude Riet en composietlocatie Elektraboezem 3. De figuren bestaan elk uit zes plots: één voor elke beschouwde zichttijd. Voor een selectie van kwantilen is de relatieve waargenomen frequentie geplot tegen de voorspelde overschrijdingskans. De beschouwde gebeurtenis is dan gedefinieerd als het overschrijden van de bij het voorspelde kwantiel behorende (gesimuleerde) waterstand. Anders gezegd: een gebeurtenis wordt geacht plaatsgevonden te hebben als de bij een kwantiel uit een kansverwachting behorende gesimuleerde waterstand wordt overschreden. Die kwantilen verschillen van kansverwachting op kansverwachting, maar er mag verwacht worden dat van alle beschouwde gesimuleerde waterstanden behorende bij het 5% kwantiel, 5% ónder de bijbehorende waterstanden, en 95% bóven liggen. Als kansverwachtingen volledig betrouwbaar zouden zijn, zouden de curves uit de reliability plots samenvallen met de diagonaal  $y = x$ .

FIGURE 6 RELIABILITY PLOTS VOOR DE LOKATIE OUDE RIET

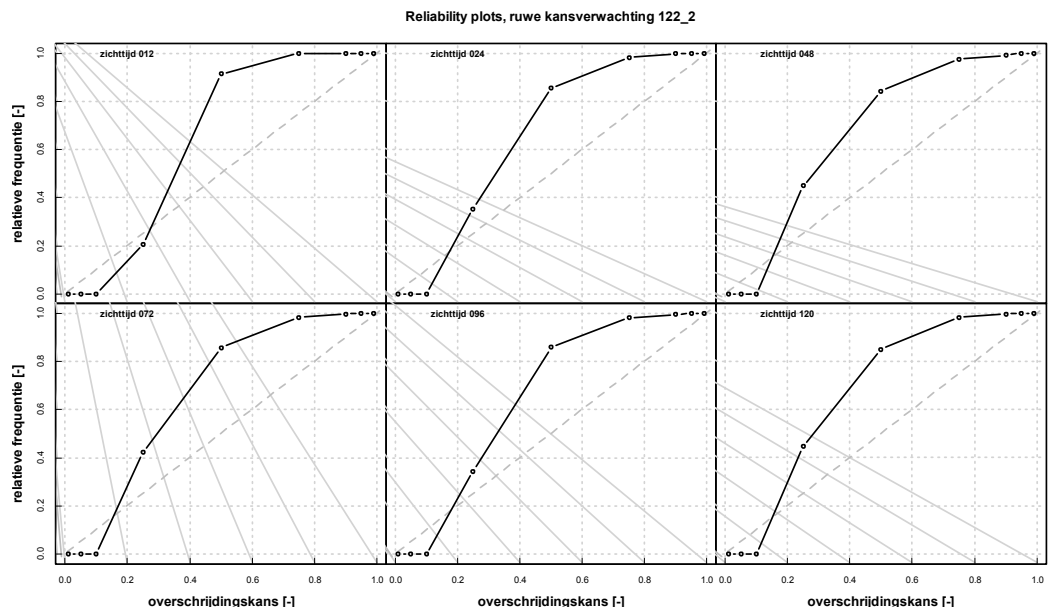
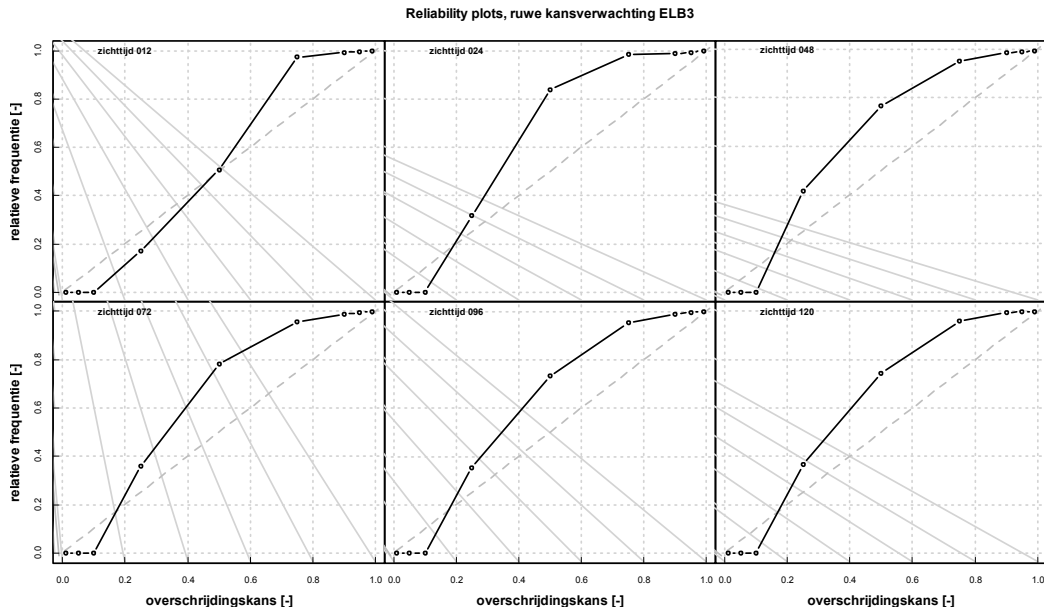


FIGURE 7

## RELIABILITY PLOTS VOOR DE COMPOSITIETLOKATIE ELEKTRABOEZEM 3



De reliability plots laten zien dat er voor beide lokaties en voor alle zichttijden sprake is van zgn. *underconfidence*: de kansverwachtingen zijn te breed. Blijkbaar is er in de calibratieperiode een lagere correlatie tussen *predictor* en *predictand* geweest dan in de validatieperiode. Ook is er sprake van een bias van de mediane verwachting; die ligt vrijwel altijd te laag.

## 6.2 BRIER'S PROBABILITY SCORE

Omdat de beschikbare dataset beperkt was en er vrijwel geen overschrijdingen van de alarmpeilen zijn waargenomen in de validatieperiode, is hier gekozen om voor Brier's probability score een kunstmatige drempelwaarde te kiezen. De beschouwde gebeurtenis is de overschrijding van het 90% kwantiel uit de waargenomen verdeling van waterstanden. Anders gezegd: het niveau waarvan je mag verwachten dat het één-tiende van de tijd overschreden wordt.

Op basis van de Brier scores zijn *skill scores* berekend (Table 6); hier is als triviale verwachting de klimatologie gebruikt. "Klimatologie" betekent dat de verwachting is dat de kans op voorkomen van een gebeurtenis gelijk is aan de in het verleden waargenomen relatieve frequentie van die gebeurtenis. Anders gezegd: als overschrijding van waterstand X in het verleden in 0,5% van de tijd is waargenomen, wordt als triviale verwachting gesteld dat de kans op voorkomen daarvan gelijk is aan 0,5%. Nota bene: bij de berekening van de *skill scores* is uitgegaan van de klimatologie van de beschouwde verzameling, oftewel van de klimatologie van het kalenderjaar 2011.

TABLE 6

BRIER'S PROBABILITY SKILL SCORES: 0 = GEEN SKILL; 1 = PERFECT SKILL

Sum of ss	locld	
zichttijd	122_2	ELB3
12	0.42	0.24
24	0.30	0.13
48	0.21	-0.24
72	0.16	-0.27
96	0.07	-0.24
120	-0.25	-0.27

De Brier skill scores laten zien dat de gemaakte kansverwachtingen enige *skill* hebben, die afneemt met zichttijd. Eigenlijk is geen skill meer te vinden bij zichttijden langer dan 48 uur (Oude Riet) en 12 uur voor Elektraboezem3.

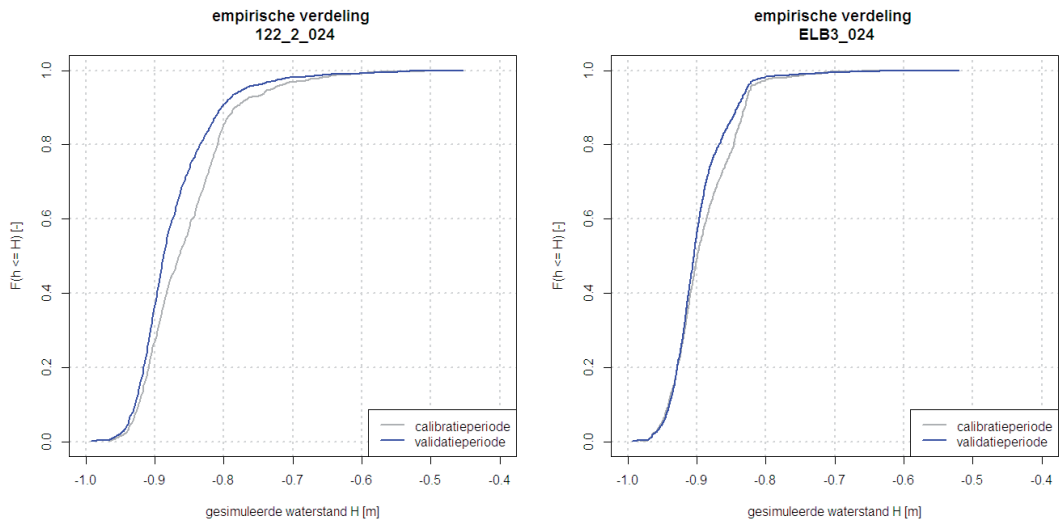
### 6.3 INTERPRETATIE EN ANALYSE

Uit de reliability plots blijkt dat de kansverwachtingen die gemaakt zijn voor het kalenderjaar 2011 *underconfident* zijn: de kansdichtheid is te breed. Dit heeft mogelijk te maken met de overgang in 2011 van het gebruik van HIRLAM 7.0 naar HIRLAM 7.2 voor het forceren van het neerslag-afvoermodel bij het maken van waterstandsverwachtingen. Hoewel hier geen analyse naar gedaan is, is de aanname dat de kwaliteit van het nieuwe HIRLAM-model is toegenomen, en daarmee ook de kwaliteit van de gemaakte neerslag-afvoerverwachtingen. Daarmee neemt ook de correlatie tussen de waterstandsverwachting en de waterstandssimulatie toe. Omdat er in de calibratieperiode een lagere correlatie was, zijn de daarop gebaseerde kansverwachtingen in de periode 2011 dan inderdaad te breed.

De Brier skill scores laten zien dat er enige skill is ten opzichte van een naïeve verwachting op basis van de klimatologie. Hierbij moet worden opgemerkt dat het dan gaat om de klimatologie van de validatieset. Omdat die de validatieperiode veel beter beschrijven dan langjarige klimatologie, is de naïeve verwachting beter dan anders verwacht mag worden. Als gevolg daarvan is de hier berekende Brier skill score een onderschatting van de echte Brier skill score.

Idealiter is voor kalibratie en validatie een langjarige periode beschikbaar waarvan gesteld kan worden dat die representatief is voor het ter plaatse geldende meteorologische en hydrologische klimaat. Dan kan een *leave-one-year-out* analyse gedaan worden, waarbij steeds de volledige dataset, op één jaar na, gebruikt wordt voor kalibratie en het ene jaar voor validatie. Het validatiejaar wordt dan afgewisseld, zodat alle jaren aan bod komen. De evaluaties van de validatieperiodes worden dan gemiddeld, zodat een representatief beeld verkregen wordt van de kwaliteit van de gemaakte verwachtingen. In voorliggend project was een periode van minder dan drie jaar beschikbaar. In dat geval is de "klimatologie" van de kalibratieperiode vrijwel altijd anders dan die van de validatieperiode, wat leidt tot een verslechtering van de kwaliteit van de kansverwachtingen. Dat blijkt hier ook aan de orde te zijn; zie bijvoorbeeld de figuur hieronder, waarin empirische verdelingen van gesimuleerde waterstanden in de kalibratie- en validatieperiode zijn afgebeeld. Uit de figuren blijkt, dat deze nogal kunnen verschillen.

FIGURE 8      **EMPIRISCHE VERDELINGEN VAN GESIMULEERDE WATERSTANDEN IN DE CALIBRATIEPERIODE EN DE VALIDATIEPERIODE, VOOR LOKATIES OUDE RIET (LINKS) EN ELEKTRABOEZEM3 (RECHTS)**



# 7

## OPZET VAN DELFT-FEWS-MODULE

In het geval van Waterschap Noorderzijlvest worden de *real-time* kansverwachtingen gemaakt met een module in het bestaande FEWS-Noorderzijlvest. Deze module is van het *GeneralAdapter* type: FEWS levert data aan de module, de module voert een aantal scripts uit en zet uitvoer daarvan om in een formaat dat door FEWS geïmporteerd kan worden. De scripts zijn geschreven in R, een *open source* programmeeromgeving. De R programmatuur is geïnstalleerd als een separate module in FEWS, die aangeroepen wordt door de *GeneralAdapter* die kansverwachtingen genereert.

### 7.1 WORKFLOW

De workflow waarin de kansverwachtingen worden geproduceerd, ziet er op hoofdlijnen als volgt uit:

1. De twee QR-modules (één voor iedere lokatie) worden uitgevoerd:
  - a. Export van deterministische verwachtingen naar QR scripts;
  - b. Uitvoeren van QR-scripts en klaarzetten van resultaten;
  - c. Import van kansverwachtingen in FEWS.
2. Er wordt een interpolatie gedaan voor de zichttijden waarvoor niet expliciet een kansverwachting wordt gemaakt;
3. De HTML-bestanden voor de rapportageserver worden gemaakt.

### 7.2 AANPASSINGEN AAN DE FEWS CONFIGURATIE

Aan de FEWS-configuratie is een aantal aanpassingen gedaan:

- er zijn één workflow en een aantal modules toegevoegd;
- er zijn parameters toegevoegd voor de kansverdeling en de overschrijdingskansen;
- er zijn nieuwe displays gemaakt waarmee de kansverwachtingen gevisualiseerd worden;
- er is een module gemaakt die de kansverwachtingen naar een HTML-rapport exporteert; en
- er is een export-module gemaakt.

Deze aanpassingen zijn in detail beschreven in de bijlage (Appendix 4 :).

Naast de aanpassingen aan de configuratie zijn twee nieuwe modules gemaakt in de FEWS/Modules map:

1. R-2.13.0; met daarin de R programmacode en benodigde *libraries*.
2. Qr-nzv; met daarin de scripts die de eigenlijke kansverwachtingen genereren.

### 7.3 VOORBEELD VAN KANSVERWACHTINGEN

Onderstaande figuren geven een indruk van hoe de kansverwachtingen er in de FEWS-omgeving uitzien. Achtereenvolgens zijn dat figuren van een gediscretiseerde kansverdeling, en van de overschrijdingskansen van de diverse alarmniveaus.

FIGURE 9

GEDISCRETISEERDE KANSVERWACHTING ALS FUNCTIE VAN TIJD

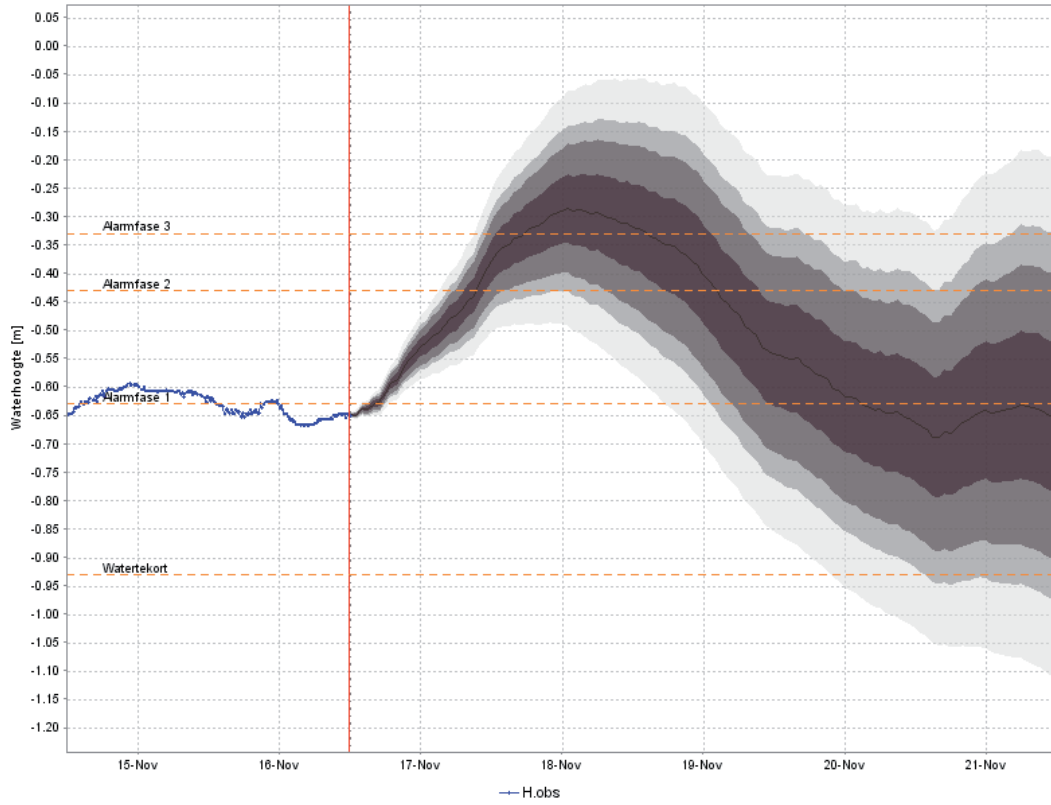
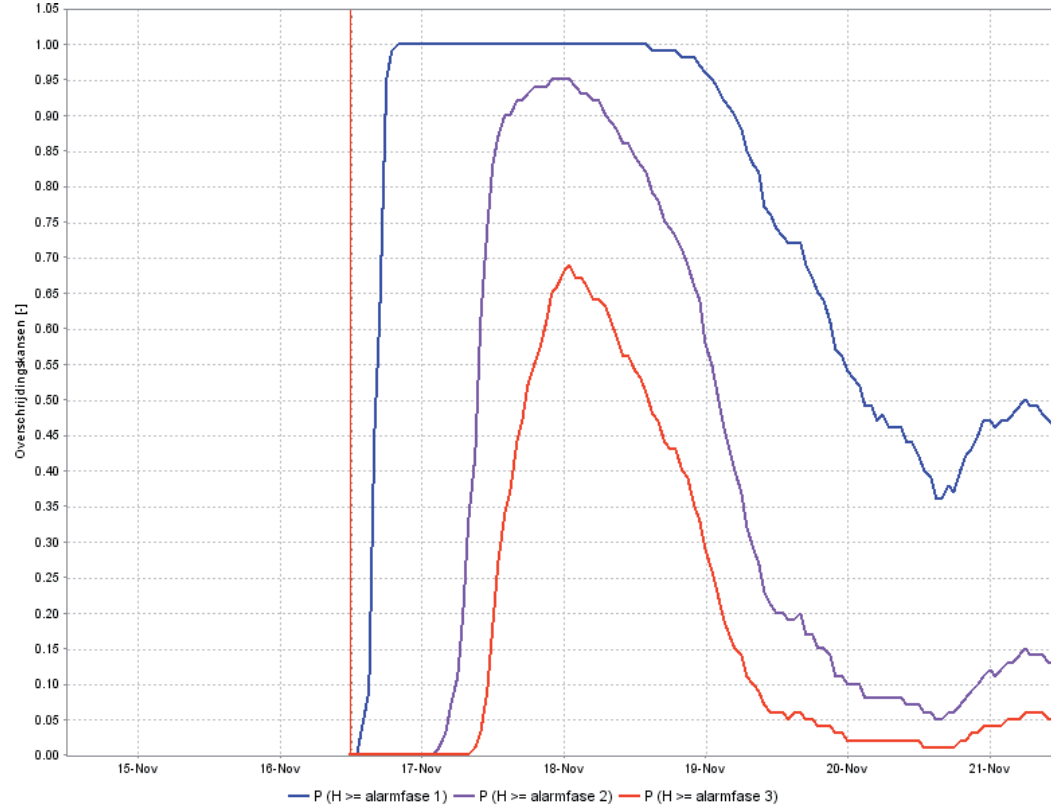


FIGURE 10

OVERSCHRIJDINGSKANSEN VAN DIVERSE ALARMNIVEAUS, ALS FUNCTIE VAN TIJD





# 8

## SAMENVATTING, CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

### 8.1 SAMENVATTING EN CONCLUSIES

In het kader van het project “Beslissen op basis van kansverwachtingen” is een post-procesor gemaakt die in real-time een schatting maakt van de kansverdeling van een toekomstige waterstand. Het gaat dan om een conditionele kansverdeling, gegeven een deterministische waterstandsverwachting. De aldus gemaakte kansverwachtingen hebben betrekking op twee voor het operationele waterbeheer belangrijke lokaties in Waterschap Noorderzijlvest.

Allereerst is een analyse gedaan van de correlatie tussen *à priori* verwachte waterstanden en *à posteriori* waargenomen waterstanden. Deze correlatie bleek erg laag te zijn. De reden hiervoor ligt voornamelijk in het feit dat het hydrologisch model onvoldoende menselijke ingrepen in het watersysteem simuleert. Dit maakt de deterministische waterstandsverwachting een ongeschikte predictor voor de in de realiteit opgetreden waterstanden.

In overleg met Waterschap Noorderzijlvest is besloten om een andere kansverwachting te maken: een schatting van de kansverdeling van *gesimuleerde* waterstanden, voorwaardelijk op een deterministische waterstandsverwachting. De gesimuleerde waterstanden worden niet beïnvloed door menselijk handelen. De correlaties tussen deze twee variabelen is heel redelijk gebleken. Daarop zijn 12 QR-modellen gecalibreerd: één voor elke combinatie van lokatie en zichttijd. Deze QR-modellen zijn vervolgens toegepast op een onafhankelijke validatieperiode. Evaluatie hiervan laat zien dat de door de QR-modellen voorspelde kansen van peiloverschrijdingen niet altijd exact overeenkomt met de waargenomen relatieve frequentie daarvan, maar wel veel beter zijn dan een naïeve verwachting zoals klimatologie.

### 8.2 AANBEVELINGEN

De oorspronkelijke opzet van voorliggend project was om kansverwachtingen te maken van daadwerkelijk opgetreden waterstanden. Dit is niet gelukt omdat de kwaliteit van de gemaakte waterstandsverwachtingen (te) laag is gebleken. Omdat het voor het waterschap uiteindelijk waardevol zal zijn om toch de oorspronkelijk bedoelde kansverwachtingen te kunnen maken, verdient het dan ook de aanbeveling om te proberen, de gemaakte modelverwachtingen te verbeteren. Mogelijk kan dit gedaan worden door de “sturing” van het watersysteem beter overeen te laten komen met de sturingsregels in het hydraulisch model; momenteel wordt hiernaar onderzoek gedaan. Ook zal een betere beschrijving van de initiele condities van het watersysteem bijdragen aan de kwaliteit van de verwachtingen; hieraan kan het gebruik van data-assimilatie bijdragen. Tenslotte is het mogelijk dat een bias-correctie van de HIRLAM-verwachtingen kan leiden tot betere schattingen van toekomstige neerslag. Hiernaar zal verder onderzoek gedaan moeten worden.

Een tweede aanbeveling is om kansverwachtingen betrouwbaarder te maken door meer conditionerende variabelen te gebruiken. Het is goed mogelijk – aannemelijk zelfs – dat de kwaliteit van de waterstandsverwachtingen varieert met initiële condities, antecedente neerslag en neerslaghoeveelheden. De waarde van deze variabelen is bekend op het moment dat een kansverwachting gemaakt moet worden, en kan daarom gebruikt worden om de verwachtingen verder te conditioneren. Hiermee zal, bij gelijkblijvende betrouwbaarheid, de breedte van de kansverdelingen afnemen, wat een betere beslissing mogelijk maakt.

Een derde aanbeveling is om te onderzoeken of het mogelijk is om een lagere resolutie in de tijd te gebruiken. Daarmee wordt bedoeld dat waterstandsverwachtingen niet worden vergeleken met waterstanden die exact op dat moment optreden, maar met een beste match in de onmiddellijke periode daarvan. Daarmee worden lage correlaties als gevolg van *lag errors* voorkomen. Hiernaar moet verder onderzoek verricht worden.

*Last but not least* verdient het de aanbeveling om zowel calibratie als validatie uit te voeren op langjarige tijdreeksen. Daarmee wordt een betere verzekering gegeven van de representativiteit van de QR-modellen. Gegeven de voortdurende veranderingen in de fysieke watersystemen én de voortdurende verbetering in meteorologische, hydrologische en hydrodynamische modellen zal het echter moeilijk zijn om lange, homogene reeksen te creëren.

## 9

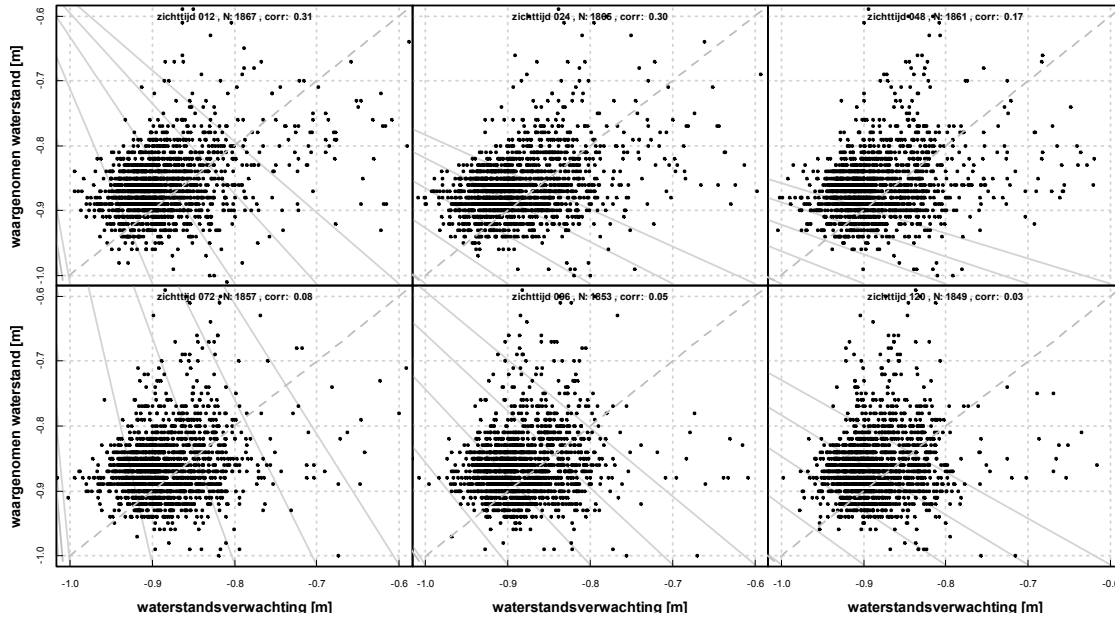
## LITERATUUR

- Engel, E.: Die Produktions- und Konsumptionsverhältnisse des Königreichs Sachsen, Zeitschrift des Statistischen Bureaus des Königlich Sächsischen, Ministeriums des Innern, 8, 1-54, 1857.
- van Heeringen, K.: FEWS Noorderzijlvest: handleiding en achtergronddocumentatie, Deltares, Delft, The Netherlands., 2010.
- Koenker, R.: Quantile Regression, Cambridge University Press., 2005.
- Koenker, R.: Quantile regression in R: A vignette, [online] Available from: <http://cran.r-project.org/web/packages/quantreg/vignettes/rq.pdf>, 2010.
- Koenker, R. and Basset, G.: Regression Quantiles, *Econometrica*, 46(1), 33-50, 1978.
- Koenker, R. and Hallock, K. F.: Quantile Regression, *The Journal of Economic Perspectives*, 15(4), 143-156, 2001.
- NCAR - Research Application Program: Verification: Forecast verification utilities. [online] Available from: <http://CRAN.R-project.org/package=verification>, 2010.
- R Development Core Team: R: A Language and Environment for Statistical Computing, Vienna, Austria. [online] Available from: <http://www.R-project.org/>, 2011.
- Verkade, J. S. and Loenen, A van.: Real-time hydrologische kansverwachtingen - implementatierapport, Deltares, Delft, The Netherlands., 2011.
- Verkade, J. S. and Schellekens, J.: Estimation and visualisation of predictive hydrological uncertainty in Ovens river, Deltares, Delft, The Netherlands., 2010.
- Verkade, J. S. and Werner, M. G. F.: Estimating the benefits of single value and probability forecasting for flood warning, *Hydrology and Earth System Sciences*, 15(12), 3751-3765, doi:10.5194/hess-15-3751-2011, 2011.
- Verkade, J. S., Loenen, A. van, Beckers, J., Weerts, A. H. and Leeuwen, P. E. R. M. van: Kansverwachtingen in het regionaal-waterbeheer, *H2O*, 16, 20-21, 2011.
- Weerts, A. H. and Verkade, J. S.: Verification of probability forecasts in hydrology, Deltares., 2011.
- Weerts, A. H., Winsemius, H. C. and Verkade, J. S.: 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), 255-265, 2011.

APPENDIX 1

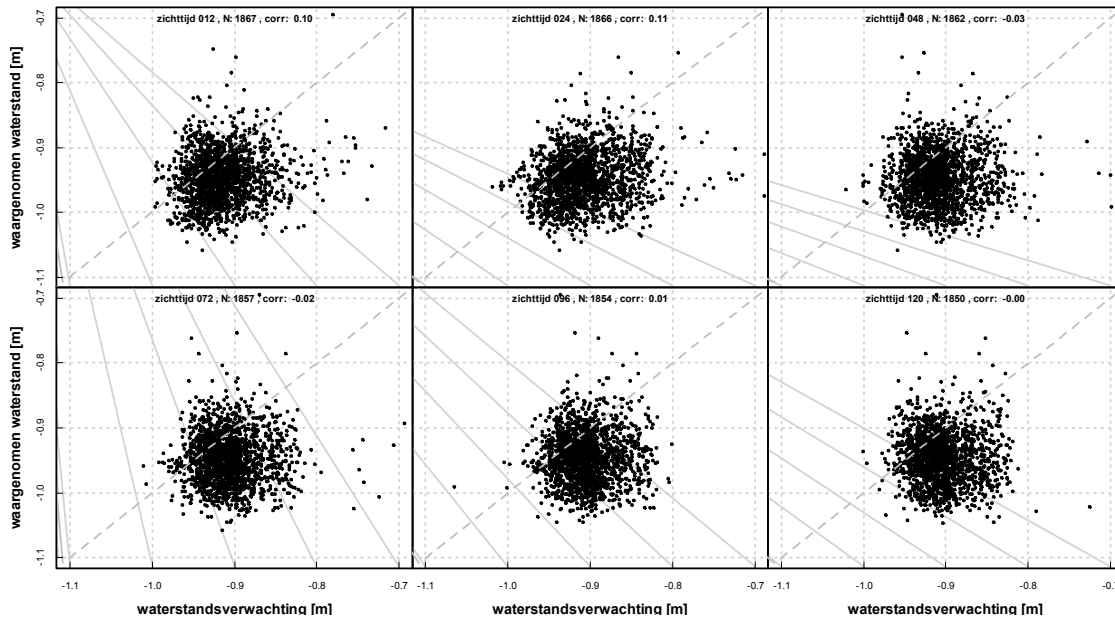
# SPREIDINGSDIAGRAMMEN

## 1.1 OUDE RIET: WAARNEMINGEN VERSUS VERWACHTINGEN



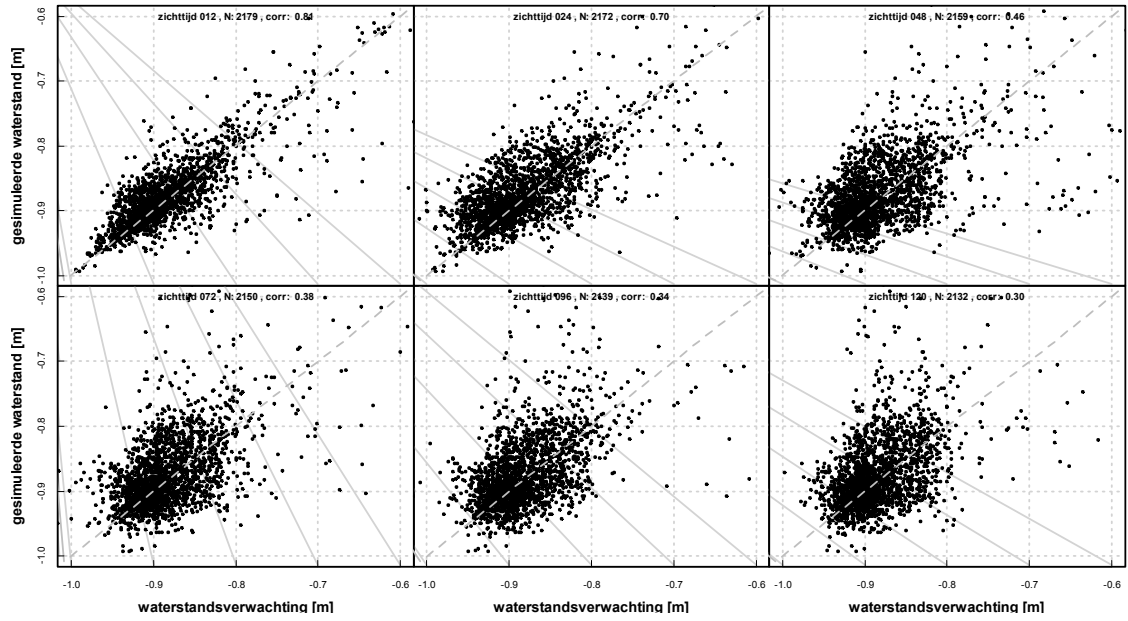
## 1.2 ELEKTRABOEZEM3: WAARNEMINGEN VERSUS VERWACHTINGEN

ELB3



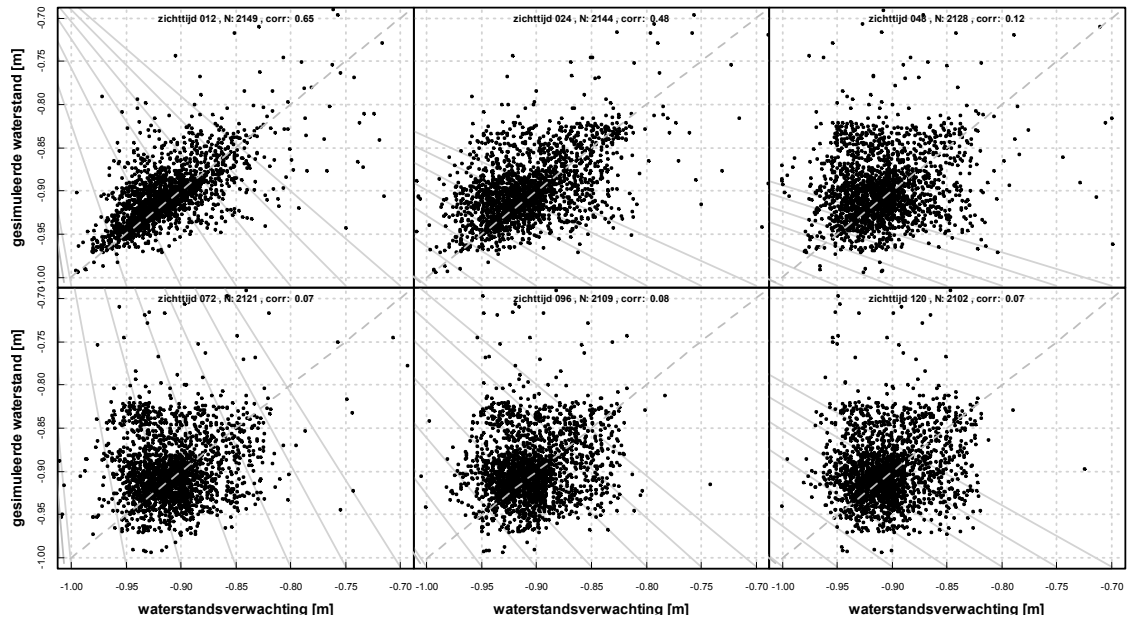
### 1.3 OUDE RIET: SIMULATIES VERSUS VERWACHTINGEN

122\_2



### 1.4 ELEKTROBOEZEM3: SIMULATIES VERSUS VERWACHTINGEN

ELB3



APPENDIX 2

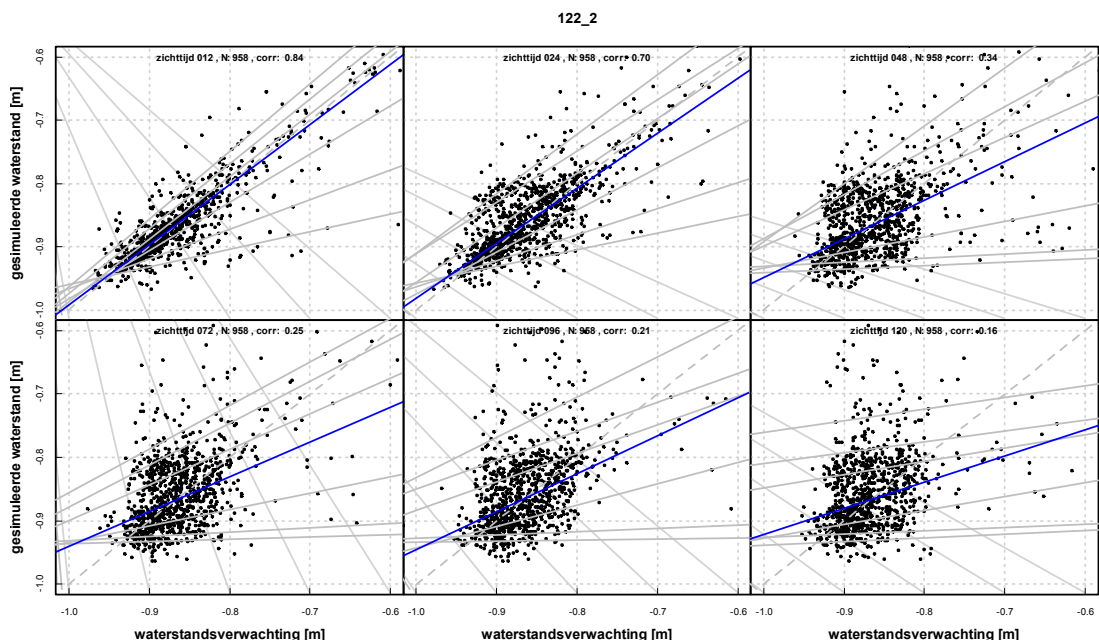
# QR CALIBRATIE

## 2.1 COËFFICIËNTEN VAN DE QR-MODELLEN

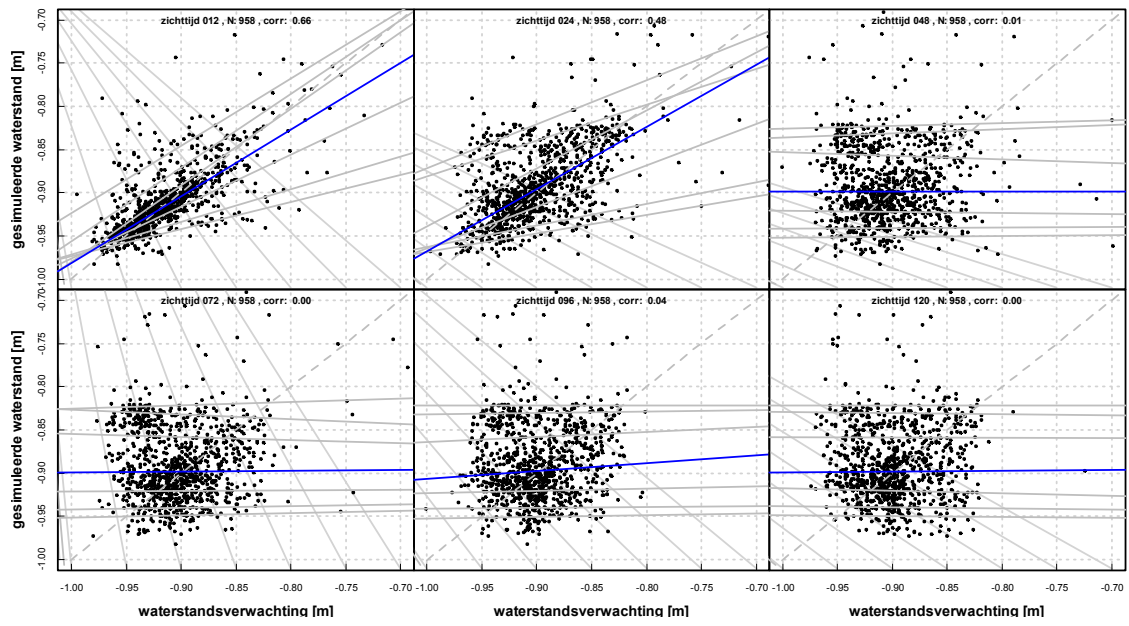
TABLE 7 COËFFICIËNTEN VAN DE QR-MODELLEN

Sum of value			quantile								
locid	zichttijd	coeff	0.01	0.05	0.1	0.25	0.5	0.75	0.9	0.95	0.99
122_2	12	intercept	-0.76	-0.62	-0.48	-0.28	-0.10	-0.04	0.03	0.07	0.36
		slope	0.21	0.34	0.49	0.70	0.89	0.94	0.99	1.02	1.30
	24	intercept	-0.85	-0.69	-0.57	-0.41	-0.22	-0.17	-0.09	0.04	0.26
		slope	0.11	0.27	0.39	0.55	0.74	0.78	0.83	0.96	1.17
	48	intercept	-0.90	-0.88	-0.78	-0.65	-0.39	-0.22	-0.14	0.04	0.35
		slope	0.06	0.06	0.17	0.30	0.55	0.71	0.76	0.95	1.23
	72	intercept	-0.93	-0.86	-0.83	-0.64	-0.38	-0.22	-0.13	0.00	0.73
		slope	0.03	0.08	0.11	0.30	0.57	0.71	0.78	0.90	1.60
	96	intercept	-0.93	-0.87	-0.78	-0.60	-0.33	-0.25	-0.15	-0.09	0.24
		slope	0.03	0.08	0.16	0.35	0.63	0.68	0.76	0.79	1.05
	120	intercept	-0.90	-0.89	-0.77	-0.62	-0.42	-0.26	-0.18	-0.15	-0.31
		slope	0.07	0.06	0.18	0.32	0.53	0.67	0.72	0.72	0.40
ELB3	12	intercept	-0.85	-0.65	-0.54	-0.37	-0.24	-0.16	-0.12	0.08	0.29
		slope	0.12	0.32	0.43	0.60	0.73	0.81	0.83	1.03	1.21
	24	intercept	-0.87	-0.77	-0.71	-0.58	-0.43	-0.35	-0.34	-0.32	0.08
		slope	0.10	0.20	0.24	0.38	0.52	0.58	0.56	0.57	0.96
	48	intercept	-0.94	-0.94	-0.93	-0.88	-0.79	-0.67	-0.67	-0.66	-0.26
		slope	0.03	0.01	0.01	0.04	0.13	0.23	0.20	0.19	0.57
	72	intercept	-0.93	-0.93	-0.89	-0.89	-0.85	-0.75	-0.81	-0.78	-0.72
		slope	0.04	0.03	0.05	0.04	0.06	0.14	0.04	0.05	0.04
	96	intercept	-0.94	-0.93	-0.92	-0.88	-0.77	-0.64	-0.73	-0.79	-0.84
		slope	0.03	0.02	0.02	0.05	0.15	0.27	0.12	0.05	-0.09
	120	intercept	-0.96	-0.94	-0.93	-0.91	-0.83	-0.70	-0.75	-0.79	-0.81
		slope	0.01	0.01	0.01	0.02	0.08	0.20	0.10	0.04	-0.06

## 2.2 VISUALISATIE VAN QR-MODELLEN: OUDE RIET



### 2.3 VISUALISATIE VAN QR-MODELLEN: ELEKTRABOEZEM 3



## APPENDIX 3

# HINDCASTEN MET DELFT-FEWS

Het kan nodig zijn om hindcasts uit te voeren om een voldoende grote dataset met verwachtingen uit het verleden te hebben. Een mogelijke reden is dat een operationeel systeem nog niet voldoende lang actief is. Een andere reden is dat er wijzigingen hebben plaatsgevonden in het operationele systeem of in het hydrologische/ hydrodynamische model waarmee het betreffende watersysteem wordt gesimuleerd, waardoor de bestaande verwachtingen niet meer gebruikt kunnen worden voor kansverwachtingen op basis van een nieuw model.

Er zijn verschillende stappen te identificeren bij het maken van een serie hindcasts. Deze zal per systeem en per waterschap verschillen. Om enige richting te geven zijn een aantal algemene stappen gedefinieerd:

1. Verzamelen van data
2. Importeren van data
3. Opzetten van export
4. Uitvoeren van de hindcast

In deze bijlage worden de stappen beschreven. Ook wordt aangegeven hoe de hindcasts hebben plaatsgevonden bij Waterschap Noorderzijlvest. Er wordt uitgegaan van een configuratie van het hoogwatervoorspelstelsel waarbij er dagelijks één historische berekening wordt uitgevoerd, en één of meerdere verwachtingsberekeningen. De historische berekening verzorgt daarbij de zogenaamde state, oftewel de initiële toestand voor de verwachtingsberekening.

### 3.1 VERZAMELEN VAN DATA

Er zijn verschillende typen data nodig voor het uitvoeren van de historische en de verwachtingsberekeningen. Er dienen zoveel mogelijk data gebruikt te worden die ook beschikbaar waren op het moment waarop iedere hindcast wordt uitgevoerd. Per hoogwatervoorspelstelsel wordt er andere data gebruikt. In het algemeen is er echter sprake van de data zoals in onderstaande tabel.

TABLE 9.8

ALGEMEEN OVERZICHT GEBRUIKTE DATA IN HOOGWATERVOORSPELSTELLEN

Modus	Modelforcering	Randvoorwaarde
Historisch	Neerslag: ruwe radarbeelden	Getijmetingen
	Neerslag: synops	Opzetmetingen
	Wind: synops	Astronomisch getij
	Verdamping: synops	
Verwachting	Neerslag: HIRLAM	Getijverwachtingen
	Neerslag: ECMWF-DET	Opzetverwachtingen
	Wind: HIRLAM	Astronomisch getij
	Wind: ECMWF-DET	
	Verdamping	



Opmerkingen:

1. HIRLAM-verwachtingen gaan tot maximaal 48 uur vooruit; ECMWF-DET-verwachtingen worden gebruikt voor zichttijden van 48 tot 120 uur.
2. Onlangs is overgegaan op gebruik van HIRLAM 7.2 (was HIRLAM 7.0). Voor hindcasten wordt bij voorkeur versie 7.2 gebruikt. Bij de pilot Noorderzijlvest was dit niet mogelijk.
3. Het hydrologisch model heeft een opwarmtijd nodig. Voor deze periode moet wél de historische data beschikbaar zijn, maar niet de verwachtingen.

De databron waarvoor de minste data beschikbaar is bepaalt logischerwijs de periode waarover de hindcasts worden uitgevoerd.

Voor zover bekend hebben er, op HiRLAM na, geen wijzigingen plaatsgevonden in de kenmerken van de databronnen, gebruikt voor de hindcasts. Alleen van HiRLAM is bekend dat in september 2011 er is overgestapt op HiRLAM v7.2. Daarvoor werd er gebruikt gemaakt van HiRLAM v7.0. De nieuwe versie zou bepaalde weerfenomenen beter moeten simuleren. Het grootste deel van de verwachtingsberekeningen was daarmee op basis van HiRLAM v7.0.

### 3.2 IMPORTEREN VAN DATA

Vervolgens moet de verzamelde data geïmporteerd worden. Er zijn twee mogelijkheden om dit te doen. De eerste is alles in één keer importeren. De andere mogelijkheid is om alleen de voor iedere modelberekening benodigde data te importeren. Beide opties worden hier besproken.

#### 3.2.1 EÉN GROTE IMPORT

Deze optie is de makkelijkste, aangezien er geen extra configuratie aan FEWS wordt toegevoegd. Wel dient men er rekening mee te houden dat bij grote datasets er problemen kunnen optreden met geheugenbeschikbaarheid. Dit kan bijvoorbeeld gebeuren bij het importeren van grid bestanden, zoals HirLAM. In dit geval dient de data in delen te worden geïmporteerd.

Indien data in één keer wordt geïmporteerd is de kans aanwezig dat er bij een historische of verwachtingsberekening data wordt gebruikt die er op dat moment eigenlijk niet was. Zo komt het 24-uurs neerslagbeeld pas na 36 uur beschikbaar, omdat deze gekalibreerd wordt met handmetingen. Worden alle beelden voor de hindcast in één keer geïmporteerd, dan zullen de 24-uurs beelden mogelijk wel worden gebruikt bij een historische of verwachtingsrun, terwijl dat in werkelijkheid niet was gebeurd.

#### 3.2.2 JUST-IN-TIME IMPORT

Het alternatief op de hiervoor genoemde optie is om bestanden “just-in-time” te importeren. De relevante data wordt dan als tijdelijke tijdserie geïmporteerd (en weggegooid zodra de transformatie naar gewenste schaal is voltooid). Voordeel is dat de werkelijke situatie ten tijde van het hindcastmoment beter wordt benaderd (bijvoorbeeld alleen ruwe radarbeelden net voor T0, en gekalibreerde radarbeelden in de aanloop), nadeel is dat er veel aandacht uit dient te gaan naar de opdeling van de data. De data moet zijn opgedeeld naar het moment waarop deze beschikbaar kwam, en niet naar het moment waarvoor deze geldig is.

Om deze optie toe te passen kan er een extra module worden toegevoegd aan FEWS die grote databestanden “just in time” kopieert naar FEWS importlokatie. In onderstaande figuur is een configuratievoorbeeld opgenomen van een GeneralAdapterModule van FEWS. Door het

draaien van onderstaande module net voor het uitvoeren van een modelberekening, worden bepaalde bestanden vanuit een archieffolder gekopieerd naar de importfolder in FEWS. Welke bestanden worden gekopieerd, wordt bepaald in het batch bestand dat wordt aangeroepen door deze module. De module geeft informatie, zoals folders en een T0 als argumenten aan het batch bestand door. Dit bestand verzorgt het kopiëren van bestanden die aan de voorwaarden voldoen naar de import folder.

The screenshot shows the XML configuration for the `generalAdapterRun` module. The configuration is as follows:

Property	Value
<code>xmlns</code>	<code>http://www.wldelft.nl/fews</code>
<code>xmlns:xsi</code>	<code>http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance</code>
<code>xsi:schemaLocation</code>	<code>http://www.wldelft.nl/fews http://fews.wldelft.nl/schemas/version1.0/generalAdapterRun.xsd</code>
<b>general</b>	
<code>description</code>	copy files from backup to import dir
<code>rootDir</code>	<code>%REGION_HOME%/Modules/copy_files</code>
<code>workDir</code>	<code>%ROOT_DIR%</code>
<code>exportDir</code>	<code>%ROOT_DIR%</code>
<code>importDir</code>	<code>%ROOT_DIR%</code>
<code>dumpFileDir</code>	<code>%REGION_HOME%/DumpFiles</code>
<code>dumpDir</code>	<code>%ROOT_DIR%</code>
<code>diagnosticFile</code>	<code>%ROOT_DIR%/diag_placeholder.xml</code>
<code>time0Format</code>	<code>yyyy-MM-dd</code>
<b>activities</b>	
<b>executeActivities</b>	
<b>executeActivity</b>	
<b>command</b>	
<code>executable</code>	<code>%ROOT_DIR%/copy_files.bat</code>
<b>arguments</b>	
<b>argument (3)</b>	
	<code>abc Text</code>
1	<code>id:fewsdatabackup</code>
2	<code>%REGION_HOME%/import\KNMI</code>
3	<code>%TIME0%</code>
<code>timeOut</code>	500000

### 3.3 OPZETTEN VAN EXPORT

Van iedere forecast moet een export worden gemaakt die in gelezen kan worden door het QR rekenscript. Voor het script zijn de volgende randvoorwaarden van belang:

- Export forecast als CSV bestand.
- Naamgeving: t0 in bestandsnaam, bijvoorbeeld: 20110920\_1200\_Forecast.csv
- Inhoud: tijdreeksen van predictors: in de pilot bij Waterschap Noorderzijlvest waren dit deterministische waterstandsverwachtingen.
- Bestandjes kunnen tijdreeksen van één of meerdere locaties bevatten. In geval van enkele locatie moet het locationId in de naam van het bestand staan, anders in de header van de CSV export.

In onderstaand figuur is de configuratie weergegeven van een TimeSeriesExport module van FEWS. Met deze configuratie wordt een tijdserie geëxporteerd naar CSV bestand. De forecast wordt gekozen op basis van het moment T0. Na iedere forecast dient onderstaande module dan ook gedraaid te worden.

timeSeriesExportRun	
xmlns	http://www.wldelft.nl/fews
xmlns:xsi	http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance
xsi:schemaLocation	http://www.wldelft.nl/fews http://fews.wldelft.nl/schemas/version1.0/timeSeriesExportRun.xsd
export	
general	
exportType	CSV
folder	\$EXPORT_FOLDER\$/CSV
exportFilename	
name	_export_forecast.csv
prefix	
timeZeroFormattingString	yyyyMMdd_hhmm
omitMissingValues	false
exportTimeZone	
timeSeriesSet	
moduleInstanceld	SOBEK_BoezemNZV_Voorspelling
valueType	scalar
parameterId	H.sim.voorsp
locationId	122_2
timeSeriesType	simulated forecasting
timeStep	
unit	minute
multiplier	60
relativeViewPeriod	
startOverrutable	true
endOverrutable	true
unit	hour
start	0
end	120
readWriteMode	read complete forecast
timeSeriesSet	
moduleInstanceld	ImportWMSKl
valueType	scalar
parameterId	WATHE
locationId	122_2
qualifierId	Cmd_P
timeSeriesType	external historical
timeStep	
unit	minute
multiplier	15
relativeViewPeriod	
startOverrutable	true
endOverrutable	true
unit	hour
start	0
end	120
readWriteMode	add originals

In bovenstaand voorbeeld wordt van één locatie de berekende waterstanden geëxporteerd. Ook worden de metingen op deze locatie geëxporteerd.

### 3.4 UITVOEREN VAN DE HINDCASTS

De hindcast moet gemaakt worden voor zowel de calibratie- als de validatieperiode van QR. Daarbij dient men de frequentie van voorspellen te bepalen. Belangrijk hierbij is de frequentie van gemaakte meteoverwachtingen (HIRLAM: 6 uur, ECMWF: 12 uur) en de totaal benodigde rekentijd. Hierbij geldt: hoe meer verwachtingen hoe beter. Vanuit praktische overwegingen is er bij de pilot Noorderzijlvest een frequentie van één dag aangehouden.

Vervolgens kunnen de hindcasts worden uitgevoerd. Met FEWS worden eenvoudig taken met verschillende T0 gestart. In onderstaand scherm is de optie “herhaaldelijk uitvoeren” aangevinkt. Er wordt steeds een taak gestart met een bepaalde T0. De eerste T0 is 1 januari 2010 om 6.00 uur. Als deze klaar is wordt direct een nieuwe taak gestart, nu op 2 januari 2010 om 6.00 uur. Dit gaat door tot het eind T0 is bereikt (in onderstaand voorbeeld 31-12-2010 om 6.00 uur).

Feitelijk wordt er een batch aangemaakt met opeenvolgende taken. Het uitvoeren van alle historische en verwachtingsberekeningen voor Waterschap Noorderzijlvest kostte ongeveer 730 uur aan rekentijd.

## APPENDIX 4

# AANPASSINGEN OP DE FEWS CONFIGURATIE

De volgende bestanden uit de \Config map zijn aangepast:

```
\FEWS\BOS_NZV_SA\Config\IdMapFiles\QR-NZV.xml
\FEWS\BOS_NZV_SA\Config\ModuleConfigFiles\ImportPIXML-ext-fcst.xml
\FEWS\BOS_NZV_SA\Config\ModuleConfigFiles\QR-122_2.xml
\FEWS\BOS_NZV_SA\Config\ModuleConfigFiles\QR-ELB3.xml
\FEWS\BOS_NZV_SA\Config\ModuleConfigFiles\QR-forecast-interpolate.xml
\FEWS\BOS_NZV_SA\Config\ModuleConfigFiles\Report_QR-verwachting.xml
\FEWS\BOS_NZV_SA\Config\RegionConfigFiles\LocationSets.xml
\FEWS\BOS_NZV_SA\Config\RegionConfigFiles\ModuleInstanceDescriptors.xml
\FEWS\BOS_NZV_SA\Config\RegionConfigFiles\ModuleInstanceSets.xml
\FEWS\BOS_NZV_SA\Config\RegionConfigFiles\Parameters.xml
\FEWS\BOS_NZV_SA\Config\RegionConfigFiles\WorkflowDescriptors.xml
\FEWS\BOS_NZV_SA\Config\SystemConfigFiles\DisplayGroups.xml
\FEWS\BOS_NZV_SA\Config\SystemConfigFiles\TimeSeriesDisplayConfig.xml
\FEWS\BOS_NZV_SA\Config\WorkflowFiles\QR_verwachting.xml
```

## 4.1 PARAMETERS

Aan de \BOS\_NZV\_SA\Config\RegionConfigFiles\Parameters.xml zijn parameters toegevoegd voor het beschrijven van de kansverdeling, en voor de daaruit berekende overschrijdingskansen. De eerste is een onderdeel van de parameterGroup waterstanden; voor de laatste parameters is een nieuwe parameterGroup aangemaakt.

```
<parameter id="H.forecast.QR" name="H.forecast.QR">
  <shortName>H.forecast.QR</shortName>
</parameter>
```

```
<parameterGroup id="Kans">
  <parameterType>instantaneous</parameterType>
  <unit>-</unit>
  <valueResolution>.01</valueResolution>
  <parameter id="Prob.exc.thr1" name="Overschrijdingskans van alarmpeil 1">
    <shortName>P(h > alarmpeil 1)</shortName>
  </parameter>
  <parameter id="Prob.exc.thr2" name="Overschrijdingskans van alarmpeil 2">
    <shortName>P(h > alarmpeil 2)</shortName>
  </parameter>
  <parameter id="Prob.exc.thr3" name="Overschrijdingskans van alarmpeil 3">
    <shortName>P(h > alarmpeil 3)</shortName>
  </parameter>
</parameterGroup>
```

Voor deze nieuwe parameters is een standaard plotmethode aangemaakt in \FEWS\BOS\_NZV\_SA\Config\SystemConfigFiles\TimeSeriesDisplayConfig.xml

```
<parameterDisplayOptions id="Prob.exc.thr1">
  <preferredColor>green</preferredColor>
  <lineStyle>solid;thick</lineStyle>
  <min>0</min>
  <max>1</max>
</parameterDisplayOptions>
<parameterDisplayOptions id="Prob.exc.thr2">
  <preferredColor>blue</preferredColor>
  <lineStyle>solid;thick</lineStyle>
  <min>0</min>
  <max>1</max>
</parameterDisplayOptions>
<parameterDisplayOptions id="Prob.exc.thr3">
  <preferredColor>red</preferredColor>
  <lineStyle>solid;thick</lineStyle>
  <min>0</min>
```

```
<max>1</max>
</parameterDisplayOptions>
<parameterDisplayOptions id="H.forecast.QR">
  <preferredColor>gray</preferredColor>
  <lineStyle>solid</lineStyle>
</parameterDisplayOptions>
```

#### 4.2 WORKFLOW

De workflow waarmee kansverwachtingen worden gemaakt, is gedefinieerd in \FEWS\BOS\_NZV\_SA\Config\WorkflowFiles\QR\_verwachting.xml:

```
<activity>
  <runIndependent>true</runIndependent>
  <moduleInstanceId>QR-122_2</moduleInstanceId>
</activity>
<activity>
  <runIndependent>true</runIndependent>
  <moduleInstanceId>QR-ELB3</moduleInstanceId>
</activity>
<activity>
  <runIndependent>true</runIndependent>
  <moduleInstanceId>QR-forecast-interpolate</moduleInstanceId>
</activity>
<activity>
  <runIndependent>true</runIndependent>
  <moduleInstanceId>Report_QR-verwachting</moduleInstanceId>
</activity>
```

De workflow is geregistreerd in \FEWS\BOS\_NZV\_SA\Config\RegionConfigFiles\WorkflowDescriptors.xml:

```
<workflowDescriptor id="QR_verwachting" forecast="true" visible="true" autoApprove="true">
  <description>Draait QR-verwachting</description>
  <schedulingAllowed>true</schedulingAllowed>
</workflowDescriptor>
```

### 4.3 MODULES

De volgende nieuwe moduleInstances zijn gemaakt:

```
\FEWS\BOS_NZV_SA\Config\ModuleConfigFiles\QR-122_2.xml
\FEWS\BOS_NZV_SA\Config\ModuleConfigFiles\QR-ELB3.xml
\FEWS\BOS_NZV_SA\Config\ModuleConfigFiles\QR-forecast-interpolate.xml
\FEWS\BOS_NZV_SA\Config\ModuleConfigFiles\Report_QR-verwachting.xml
```

Deze zijn ook toegevoegd aan \FEWS\BOS\_NZV\_SA\Config\RegionConfigFiles\ModuleInstanceDescriptors.xml:

```
<moduleInstanceDescriptor id="QR-122_2">
  <moduleId>GeneralAdapter</moduleId>
</moduleInstanceDescriptor>
<moduleInstanceDescriptor id="QR-ELB3">
  <moduleId>GeneralAdapter</moduleId>
</moduleInstanceDescriptor>
<moduleInstanceDescriptor id="QR-forecast-interpolate">
  <description>QR-forecast_interpolate</description>
  <moduleId>Interpolation</moduleId>
</moduleInstanceDescriptor>
```

Daarnaast is in \FEWS\BOS\_NZV\_SA\Config\RegionConfigFiles\ModuleInstanceSets.xml een moduleInstanceSet gemaakt voor de QR-modules:

```
<moduleInstanceSet id="QR-Modules">
  <moduleId>QR-122_2</moduleId>
  <moduleId>QR-ELB3</moduleId>
</moduleInstanceSet>
```

#### 4.3.1 MODULES VOOR GENEREREN VAN KANSVERWACHTINGEN

De twee General Adapter modules (één per locatie) zijn opgebouwd uit een aantal onderdelen:

1. General: Algemene definities
2. Activities
  - a. startUpActivities
  - b. exportActivities
  - c. executeActivities
  - d. importActivities

De definities in het 'general' deel bepalen waar de module en de bijbehorende import- en exportmappen zich bevinden. Ook wordt hier aangegeven dat alle scripts en datafiles zich in een .zip bevinden (in de \FEWS\BOS\_NZV\_SA\Config\ModuleDataSetFiles\ map) en die voorafgaand aan de eigenlijke 'activities' naar de module folder gekopieerd worden.

```
<general>
  <rootDir>%REGION_HOME%/Modules/QR-NZV</rootDir>
  <workDir>%ROOT_DIR%</workDir>
  <exportDir>%ROOT_DIR%/Export</exportDir>
  <exportDataSetDir>%ROOT_DIR%</exportDataSetDir>
  <exportIdMap>QR-NZV</exportIdMap>
  <importDir>%ROOT_DIR%/Import</importDir>
  <importIdMap>QR-NZV</importIdMap>
  <dumpFileDir>%ROOT_DIR%/DumpFiles</dumpFileDir>
  <dumpDir>%ROOT_DIR%/Export</dumpDir>
  <diagnosticFile>%ROOT_DIR%/QR-diagnostics.xml</diagnosticFile>
</general>
```

De startUpActivities zijn huishoudelijk van aard en zorgen er in dit geval voor dat de map waarin de module uitgevoerd wordt, wordt leegemaakt.

```
<startUpActivities>
  <purgeActivity>
    <filter>%ROOT_DIR%/*.*/</filter>
  </purgeActivity>
  <purgeActivity>
    <filter>%ROOT_DIR%/Export/*.*/</filter>
  </purgeActivity>
  <purgeActivity>
    <filter>%ROOT_DIR%/Import/*.*/</filter>
  </purgeActivity>
</startUpActivities>
```

In de exportActivities wordt aangegeven welke tijdseries er naar de QR-module worden gestuurd. In dit geval zijn dat er twee: een tijdserie met verwachtingen (van t0 tot t0+120 uur) en de laatst gedane waarneming op t0:

```
<exportActivities>
  <exportTimeSeriesActivity>
    <exportFile>FEWS2QR.xml</exportFile>
    <exportBinFile>>false</exportBinFile>
    <timeSeriesSets>
      <timeSeriesSet>
        <moduleInstanceId>ImportWISKI</moduleInstanceId>
        <valueType>scalar</valueType>
        <parameterId>WATHTE</parameterId>
        <qualifierId>Cmd_P</qualifierId>
        <locationId>ELB3</locationId>
        <timeSeriesType>external historical</timeSeriesType>
        <timeStep unit="minute" multiplier="15"/>
        <relativeViewPeriod unit="hour" start="0" end="0"/>
        <readWriteMode>read only</readWriteMode>
        <synchLevel>1</synchLevel>
      </timeSeriesSet>
      <timeSeriesSet>
        <moduleInstanceId>ImportPIXML-ext-fcst</moduleInstanceId>
        <valueType>scalar</valueType>
        <parameterId>H.sim.voorsp</parameterId>
        <locationId>ELB3</locationId>
        <timeSeriesType>external forecasting</timeSeriesType>
        <timeStep unit="minute" multiplier="15"/>
        <relativeViewPeriod unit="hour" start="0" end="120"/>
        <readWriteMode>read only</readWriteMode>
      </timeSeriesSet>
    </timeSeriesSets>
  </exportTimeSeriesActivity>
</exportActivities>
```

De executeActivities roepen de R executable aan en voeden die met het R script waarin de eigenlijke kansverwachting wordt gemaakt:

```
<executeActivities>
  <executeActivity>
    <command>
      <executable>$R_EXE$</executable>
    </command>
    <arguments>
      <argument>--vanilla</argument>
      <argument>QR-NZV.R</argument>
    </arguments>
    <timeOut>600000</timeOut>
  </executeActivity>
</executeActivities>
```



De laatste stap betreft het importeren van de in het R-script gegenereerde tijdseries:

```

<importActivities>
  <importTimeSeriesActivity>
    <importFile>QR2FEWS.xml</importFile>
    <timeSeriesSets>
      <timeSeriesSet>
        <moduleInstanceId>QR-ELB3</moduleInstanceId>
        <valueType>scalar</valueType>
        <parameterId>Prob.exc.thr1</parameterId>
        <locationId>ELB3</locationId>
        <timeSeriesType>simulated forecasting</timeSeriesType>
        <timeStep unit="hour" multiplier="1"/>
        <readWriteMode>add originals</readWriteMode>
      </timeSeriesSet>
      <timeSeriesSet>
        <moduleInstanceId>QR-ELB3</moduleInstanceId>
        <valueType>scalar</valueType>
        <parameterId>Prob.exc.thr2</parameterId>
        <locationId>ELB3</locationId>
        <timeSeriesType>simulated forecasting</timeSeriesType>
        <timeStep unit="hour" multiplier="1"/>
        <readWriteMode>add originals</readWriteMode>
      </timeSeriesSet>
      <timeSeriesSet>
        <moduleInstanceId>QR-ELB3</moduleInstanceId>
        <valueType>scalar</valueType>
        <parameterId>Prob.exc.thr3</parameterId>
        <locationId>ELB3</locationId>
        <timeSeriesType>simulated forecasting</timeSeriesType>
        <timeStep unit="hour" multiplier="1"/>
        <readWriteMode>add originals</readWriteMode>
      </timeSeriesSet>
      <timeSeriesSet>
        <moduleInstanceId>QR-ELB3</moduleInstanceId>
        <valueType>scalar</valueType>
        <parameterId>H.forecast.QR</parameterId>
        <locationId>ELB3</locationId>
        <timeSeriesType>simulated forecasting</timeSeriesType>
        <timeStep unit="hour" multiplier="1"/>
        <readWriteMode>add originals</readWriteMode>
        <ensembleId>QR99</ensembleId>
      </timeSeriesSet>
    </timeSeriesSets>
  </importTimeSeriesActivity>
</importActivities>

```

#### 4.3.2 INTERPOLATIEMODULE

De hierboven beschreven modules genereren waarden voor  $t_0$  en de zichttijden waarvoor de QR-module is geconfigureerd (12, 24, 48, 72, 96 en 120 uur na  $t_0$ ). In de interpolatiemodule (`\FEWS\BOS_NZV_SA\Config\ModuleConfigFiles\QR-forecast-interpolate.xml`) wordt een lineaire interpolatie toegepast op de hele uren tussen deze momenten. Deze interpolatie wordt gedaan voor alle gegenereerde tijdreeksen:

```

<interpolationSet interpolationId="QR-forecast-prob1">
  <serialInterpolation>
    <serialInterpolationOption>linear</serialInterpolationOption>
  </serialInterpolation>
  <timeSeriesSet>
    <moduleInstanceId>QR-ELB3</moduleInstanceId>
    <valueType>scalar</valueType>
    <parameterId>Prob.exc.thr1</parameterId>
    <locationId>ELB3</locationId>
    <timeSeriesType>simulated forecasting</timeSeriesType>
    <timeStep unit="hour" multiplier="1"/>
    <relativeViewPeriod unit="day" start="0" end="5"/>
    <readWriteMode>add originals</readWriteMode>
  </timeSeriesSet>
</interpolationSet>
<interpolationSet interpolationId="QR-forecast-prob2">
  <serialInterpolation>
    <serialInterpolationOption>linear</serialInterpolationOption>
  </serialInterpolation>
  <timeSeriesSet>
    <moduleInstanceId>QR-ELB3</moduleInstanceId>
    <valueType>scalar</valueType>
    <parameterId>Prob.exc.thr2</parameterId>
    <locationId>ELB3</locationId>
    <timeSeriesType>simulated forecasting</timeSeriesType>
    <timeStep unit="hour" multiplier="1"/>
    <relativeViewPeriod unit="day" start="0" end="5"/>
    <readWriteMode>add originals</readWriteMode>
  </timeSeriesSet>
</interpolationSet>
<interpolationSet interpolationId="QR-forecast-prob3">
  <serialInterpolation>
    <serialInterpolationOption>linear</serialInterpolationOption>
  </serialInterpolation>
  <timeSeriesSet>
    <moduleInstanceId>QR-ELB3</moduleInstanceId>
    <valueType>scalar</valueType>
    <parameterId>Prob.exc.thr3</parameterId>
    <locationId>ELB3</locationId>
    <timeSeriesType>simulated forecasting</timeSeriesType>
    <timeStep unit="hour" multiplier="1"/>
    <relativeViewPeriod unit="day" start="0" end="5"/>
    <readWriteMode>add originals</readWriteMode>
  </timeSeriesSet>
</interpolationSet>
<interpolationSet interpolationId="QR-forecast-H">
  <serialInterpolation>
    <serialInterpolationOption>linear</serialInterpolationOption>
  </serialInterpolation>
  <timeSeriesSet>
    <moduleInstanceId>QR-ELB3</moduleInstanceId>
    <valueType>scalar</valueType>
    <parameterId>H.forecast.QR</parameterId>
    <locationId>ELB3</locationId>
    <timeSeriesType>simulated forecasting</timeSeriesType>
    <timeStep unit="hour" multiplier="1"/>
    <relativeViewPeriod unit="day" start="0" end="5"/>
    <readWriteMode>add originals</readWriteMode>
    <ensembleId>QR99</ensembleId>
  </timeSeriesSet>
</interpolationSet>

```

### 4.3.3 RAPPORTAGEMODULE

Hoewel een rapportagefunctionaliteit geen gedefinieerd product is, is een eenvoudige html-module geconfigureerd die de plots die ook in FEWS zelf beschikbaar zijn, beschikbaar maken als HTML: \FEWS\BOS\_NZV\_SA\Config\ModuleConfigFiles\Report\_QR-verwachting.xml

### 4.4 PRECONFIGURED DISPLAY

Voor het visualiseren van de kansverwachtingen is een nieuwe "preconfigured display" gemaakt in \FEWS\BOS\_NZV\_SA\Config\SystemConfigFiles\DisplayGroups.xml.

```

<plot id="QR-NZV">
  <subplot>
    <line>
      <color>black</color>
      <visibleInLegend>>true</visibleInLegend>
      <label>median</label>
      <timeSeriesSet>
        <moduleInstanceSetId>QR-Modules</moduleInstanceSetId>
        <valueType>scalar</valueType>
        <parameterId>H.forecast.QR</parameterId>
        <locationSetId>QR-locaties</locationSetId>
        <timeSeriesType>simulated forecasting</timeSeriesType>
        <timeStep unit="hour" multiplier="1"/>
        <relativeViewPeriod unit="day" start="0" end="5"/>
        <readWriteMode>read only</readWriteMode>
        <ensembleId>QR99</ensembleId>
        <ensembleMemberIndex>5</ensembleMemberIndex>
      </timeSeriesSet>
    </line>
    <area>
      <color>gainsboro</color>
      <opaquenessPercentage>50</opaquenessPercentage>
      <timeSeriesSet>
        <moduleInstanceSetId>QR-Modules</moduleInstanceSetId>
        <valueType>scalar</valueType>
        <parameterId>H.forecast.QR</parameterId>
        <locationSetId>QR-locaties</locationSetId>
        <timeSeriesType>simulated forecasting</timeSeriesType>
        <timeStep unit="hour" multiplier="1"/>
        <relativeViewPeriod unit="day" start="0" end="5"/>
        <readWriteMode>read only</readWriteMode>
        <ensembleId>QR99</ensembleId>
        <ensembleMemberIndex>1</ensembleMemberIndex>
      </timeSeriesSet>
      <timeSeriesSet>
        <moduleInstanceSetId>QR-Modules</moduleInstanceSetId>
        <valueType>scalar</valueType>
        <parameterId>H.forecast.QR</parameterId>
        <locationSetId>QR-locaties</locationSetId>
        <timeSeriesType>simulated forecasting</timeSeriesType>
        <timeStep unit="hour" multiplier="1"/>
        <relativeViewPeriod unit="day" start="0" end="5"/>
        <readWriteMode>read only</readWriteMode>
        <ensembleId>QR99</ensembleId>
        <ensembleMemberIndex>9</ensembleMemberIndex>
      </timeSeriesSet>
    </area>
    <area>
      <color>gray50</color>
      <opaquenessPercentage>50</opaquenessPercentage>
      <timeSeriesSet>
        <moduleInstanceSetId>QR-Modules</moduleInstanceSetId>
        <valueType>scalar</valueType>
        <parameterId>H.forecast.QR</parameterId>
        <locationSetId>QR-locaties</locationSetId>
        <timeSeriesType>simulated forecasting</timeSeriesType>
        <timeStep unit="hour" multiplier="1"/>
        <relativeViewPeriod unit="day" start="0" end="5"/>
        <readWriteMode>read only</readWriteMode>
        <ensembleId>QR99</ensembleId>
        <ensembleMemberIndex>2</ensembleMemberIndex>
      </timeSeriesSet>
    </area>
  </subplot>
</plot>

```

```

</timeSeriesSet>
<timeSeriesSet>
  <moduleInstanceSetId>QR-Modules</moduleInstanceSetId>
  <valueType>scalar</valueType>
  <parameterId>H.forecast.QR</parameterId>
  <locationSetId>QR-locaties</locationSetId>
  <timeSeriesType>simulated forecasting</timeSeriesType>
  <timeStep unit="hour" multiplier="1"/>
  <relativeViewPeriod unit="day" start="0" end="5"/>
  <readWriteMode>read only</readWriteMode>
  <ensembleId>QR99</ensembleId>
  <ensembleMemberIndex>8</ensembleMemberIndex>
</timeSeriesSet>
</area>
<area>
  <color>gray25</color>
  <opaquenessPercentage>50</opaquenessPercentage>
  <timeSeriesSet>
    <moduleInstanceSetId>QR-Modules</moduleInstanceSetId>
    <valueType>scalar</valueType>
    <parameterId>H.forecast.QR</parameterId>
    <locationSetId>QR-locaties</locationSetId>
    <timeSeriesType>simulated forecasting</timeSeriesType>
    <timeStep unit="hour" multiplier="1"/>
    <relativeViewPeriod unit="day" start="0" end="5"/>
    <readWriteMode>read only</readWriteMode>
    <ensembleId>QR99</ensembleId>
    <ensembleMemberIndex>3</ensembleMemberIndex>
  </timeSeriesSet>
  <timeSeriesSet>
    <moduleInstanceSetId>QR-Modules</moduleInstanceSetId>
    <valueType>scalar</valueType>
    <parameterId>H.forecast.QR</parameterId>
    <locationSetId>QR-locaties</locationSetId>
    <timeSeriesType>simulated forecasting</timeSeriesType>
    <timeStep unit="hour" multiplier="1"/>
    <relativeViewPeriod unit="day" start="0" end="5"/>
    <readWriteMode>read only</readWriteMode>
    <ensembleId>QR99</ensembleId>
    <ensembleMemberIndex>7</ensembleMemberIndex>
  </timeSeriesSet>
</area>
<area>
  <color>gray18</color>
  <opaquenessPercentage>50</opaquenessPercentage>
  <timeSeriesSet>
    <moduleInstanceSetId>QR-Modules</moduleInstanceSetId>
    <valueType>scalar</valueType>
    <parameterId>H.forecast.QR</parameterId>
    <locationSetId>QR-locaties</locationSetId>
    <timeSeriesType>simulated forecasting</timeSeriesType>
    <timeStep unit="hour" multiplier="1"/>
    <relativeViewPeriod unit="day" start="0" end="5"/>
    <readWriteMode>read only</readWriteMode>
    <ensembleId>QR99</ensembleId>
    <ensembleMemberIndex>4</ensembleMemberIndex>
  </timeSeriesSet>
  <timeSeriesSet>
    <moduleInstanceSetId>QR-Modules</moduleInstanceSetId>
    <valueType>scalar</valueType>
    <parameterId>H.forecast.QR</parameterId>
    <locationSetId>QR-locaties</locationSetId>
    <timeSeriesType>simulated forecasting</timeSeriesType>
    <timeStep unit="hour" multiplier="1"/>
    <relativeViewPeriod unit="day" start="0" end="5"/>
    <readWriteMode>read only</readWriteMode>
    <ensembleId>QR99</ensembleId>
    <ensembleMemberIndex>6</ensembleMemberIndex>
  </timeSeriesSet>
</area>
<timeSeriesSet>
  <moduleInstanceId>ImportWISKI</moduleInstanceId>

```

```

        <valueType>scalar</valueType>
        <parameterId>WATHTE</parameterId>
        <qualifierId>Cmd_P</qualifierId>
        <locationSetId>QR-locaties</locationSetId>
        <timeSeriesType>external historical</timeSeriesType>
        <timeStep unit="minute" multiplier="15"/>
        <relativeViewPeriod unit="day" start="-2" end="0"/>
        <readWriteMode>read only</readWriteMode>
    </timeSeriesSet>
</subplot>
<subplot>
    <timeSeriesSet>
        <moduleInstanceSetId>QR-Modules</moduleInstanceSetId>
        <valueType>scalar</valueType>
        <parameterId>Prob.exc.thr1</parameterId>
        <locationSetId>QR-locaties</locationSetId>
        <timeSeriesType>simulated forecasting</timeSeriesType>
        <timeStep unit="hour" multiplier="1"/>
        <relativeViewPeriod unit="day" start="0" end="5"/>
        <readWriteMode>add originals</readWriteMode>
    </timeSeriesSet>
    <timeSeriesSet>
        <moduleInstanceSetId>QR-Modules</moduleInstanceSetId>
        <valueType>scalar</valueType>
        <parameterId>Prob.exc.thr2</parameterId>
        <locationSetId>QR-locaties</locationSetId>
        <timeSeriesType>simulated forecasting</timeSeriesType>
        <timeStep unit="hour" multiplier="1"/>
        <relativeViewPeriod unit="day" start="0" end="5"/>
        <readWriteMode>add originals</readWriteMode>
    </timeSeriesSet>
    <timeSeriesSet>
        <moduleInstanceSetId>QR-Modules</moduleInstanceSetId>
        <valueType>scalar</valueType>
        <parameterId>Prob.exc.thr3</parameterId>
        <locationSetId>QR-locaties</locationSetId>
        <timeSeriesType>simulated forecasting</timeSeriesType>
        <timeStep unit="hour" multiplier="1"/>
        <relativeViewPeriod unit="day" start="0" end="5"/>
        <readWriteMode>add originals</readWriteMode>
    </timeSeriesSet>
</subplot>
</plot>

```

```

<displayGroup name="QR-verwachting">
    <singleLocationDisplays>
        <relativeViewPeriod unit="day" start="-2" end="5"/>
        <locationId>122_2</locationId>
        <plotId>QR-NZV</plotId>
    </singleLocationDisplays>
    <singleLocationDisplays>
        <relativeViewPeriod unit="day" start="-2" end="5"/>
        <locationId>ELB3</locationId>
        <plotId>QR-NZV</plotId>
    </singleLocationDisplays>
</displayGroup>

```

#### 4.5 LOCATIONSETS

Voor de lokaties waarvoor kansverwachtingen worden gemaakt, is een locationSet aangemaakt in \FEWS\BOS\_NZV\_SA\Config\RegionConfigFiles\LocationSets.xml

```

<locationSet id="QR-locaties">
    <locationId>122_2</locationId>
    <locationId>ELB3</locationId>
</locationSet>

```

## APPENDIX 5

# R-SCRIPTS VOOR QR-CALIBRATIE EN –VALIDATIE

Bijgaand script voert voor één combinatie van lokatie en zichttijd de QR-calibratie, validatie en verificatie uit.

```
##
## Calibrate, validate and evaluate quantile regression
## qr.r
## Jan Verkade, jan.verkade@deltares.nl - +31.88.335.8348
## January 2012
##

# This script prepares data for parameterising quantile regression and predicting based on
the objects created
# The actual parameterisation and prediction is performed within functions qr.parameterise
and qr.predict

# General
rm(list = objects())
for (i in c("qr.parameterise.r") ) { source(i) }; rm(i)
for (i in c("verification") ) { library(i, character.only = TRUE) }; rm(i)

# Case settings
n <- 24 #lead time
taus <- round(seq(.01, .99, .01), 2) #full list of taus
tauSelected <- c(.01, .05, .10, .25, .5, .75, .90, .95, .99) #taus of interest
locId <- c("122_2")
thresholds <- c(-.93, -.63, -.43) #water level thresholds

# Prepare data
caseId <- paste(locId, sprintf("%03.0f", n), sep = "_")
pairs <- read.csv(paste(caseId, ".csv", sep = ""))
pairs <- na.omit(pairs)
s <- pairs[1:1005,3] #vector of forecasts s
h <- pairs[1:1005,4] #vector of observations h

# reliability plots
lims <- c( min(c(range(h), range(s))), max(c(range(h), range(s))) )
mainStr <- paste(caseId, "_reliability_plot_real_domain", sep = "")
plot(s, h, type = "p", pch = 20, xlim = lims, ylim = lims, main = mainStr, xlab = "ver-
wachting [m]", ylab = "waarneming [m]", panel.first = grid(lwd = 2))
abline(a=0, b=1, lwd = 2, col = "grey", lty = "dashed")
savePlot(paste(caseId, "_reliability_plot_real_domain.png", sep = ""))

# calibratie van QR
qr <- qr.parameterise( h = h, s = s, taus )
save(qr, file = paste(caseId, "-rqs.rdata", sep = ""))
coefMatrix <- data.frame(locId = locId, zichttijd = n, coeff = "slope", quantile = tauSe-
lected, value = qr$coefficients[2,which(taus %in% tauSelected)])
coefMatrix <- rbind(coefMatrix, data.frame(locId = locId, zichttijd = n, coeff = "inter-
cept", quantile = tauSelected, value = qr$coefficients[1,which(taus %in% tauSelected)]))
write.table(coefMatrix, file = "122_2_024-rqs-coefficients.csv", col.names = T, row.names
= F, sep = ",")

# validatie van QR
s <- pairs[1006:dim(pairs)[1],3] #vector of forecasts s
h <- pairs[1006:dim(pairs)[1],4] #vector of observations h
qr.fcst <- predict( qr, newdata = list( s = s ) )

# reliability plots mét QR-lijnen
lims <- c( min(c(range(h), range(s))), max(c(range(h), range(s))) )
```

```

mainStr <- paste(caseId, "_reliability_plot_real_domain", sep = "")
plot(s, h, type = "p", pch = 20, xlim = lims, ylim = lims, main = mainStr, xlab = "ver-
wachting [m]", ylab = "waarneming [m]", panel.first = grid(lwd = 2))
abline(a=0, b=1, lwd = 2, col = "grey", lty = "dashed")
for (i in c(.01, .05, .10, .25, .75, .90, .95, .99)) { abline(a =
qr$coefficients[1,which(taus == i)], b = qr$coefficients[2,which(taus == i)], col =
"gray", lwd = 2) }
i <- which(taus == .5); abline(a = qr$coefficients[1,i], b = qr$coefficients[2,i], col =
"blue", lwd = 2)
savePlot(paste(caseId, "_reliability_plot_real_domain-qr.png", sep = ""))

# Validatieplotjes
plot(h, type = "n", pch = 20, lwd = 2, panel.first = grid(lwd = 2), ylab = "water level
observation / forecast [m]", main = caseId)
polygon(c(1:length(h), length(h):1), c(qr.fcst[, which(taus == .95) ], rev(qr.fcst[,
which(taus == .05) ])), col = "grey75", lty = 0)
polygon(c(1:length(h), length(h):1), c(qr.fcst[, which(taus == .90) ], rev(qr.fcst[,
which(taus == .10) ])), col = "grey50", lty = 0)
polygon(c(1:length(h), length(h):1), c(qr.fcst[, which(taus == .75) ], rev(qr.fcst[,
which(taus == .25) ])), col = "grey25", lty = 0)
lines(qr.fcst[, which(taus == .5) ], lwd = 2, col = "grey20")
points(h, pch = 20)
legend("bottomleft", bg = "white", col = c(NA, NA, NA, "grey20", "black"),
legend = c("5-95% probability levels", "10-90% probability levels", "25-75% probability
levels", "50% probability levels", "observation"),
fill = c("grey75", "grey50", "grey25", NA, NA), lwd = c(0, 0, 0, 2, 0), lty =
c(0,0,0,1,0))
savePlot(paste(caseId, "_hydrograaf_quantiles.png", sep = ""))

# Reliability plots - kansendomein
mainStr <- paste(caseId, "_reliability_plot_probability_domain", sep = "")
relFreq <- sapply(1-tauSelected, function(i) { sum(qr.fcst[,which(taus %in% i)] > s) /
length(s) })
plot(1-tauSelected, relFreq, type = "n", main = mainStr, panel.first = grid(lwd = 2), xlab =
"overschrijdingskans [-]", ylab = "relatieve frequentie [-]")
abline(a = 0, b = 1, col = "grey", lwd = 2, lty = "dashed")
lines(1-tauSelected, relFreq, type = "b", lwd = 2)
savePlot(paste(caseId, "_reliability_plot_probability_domain.jpg", sep = ""))

# Verification
q50 <- quantile(h, .75); bin50 <- h < q50 #maak binaire vector van al dan niet overschrij-
den van x% kwantiel
s50 <- 1-apply(qr.fcst, 1, function(qr.fcst) { approx(qr.fcst, seq(.01, .99, .01), xout =
q50)$y })

# Calculate Brier's probability skill score
ver <- verify(bin50, s50)
summary(ver)

# Relative economic value plot
mainStr <- paste(caseId, "_relative_value_plot", sep="")
val <- value(bin50, s50, all = T, main = mainStr); grid()
savePlot(paste(mainStr, ".png", sep=""))

# Attribute plot
mainStr <- paste(caseId, "_attribute_plot", sep="")
attribute(ver, main = mainStr)
savePlot(paste(mainStr, ".png", sep=""))

# Relative operating characteristic plot
mainStr <- paste(caseId, "_roc_plot", sep="")
roc.plot(ver, main = mainStr)
savePlot(paste(mainStr, ".png", sep=""))

```

122\_2\_024\_reliability\_plot\_probability\_domain.jpg  
122\_2\_024\_reliability\_plot\_real\_domain.png  
122\_2\_024\_reliability\_plot\_real\_domain-qr.png  
122\_2\_024\_roc\_plot.png  
122\_2\_024-rqs.rdata  
coefficients.csv

Het .rdata-bestand bevat de coëfficiënten van het QR-model en wordt in de online module gebruikt. Deze coëfficiënten zijn in leesbare vorm te zien in 122\_2\_024-rqs-coefficients.csv.



## APPENDIX 6

# R-SCRIPTS VOOR ONLINE QR-MODULE

De FEWS-module maakt gebruik van de volgende R-scripts:

```
f:\FEWS\BOS_NZV_SA\Modules\QR-NZV\QR-NZV.R  
f:\FEWS\BOS_NZV_SA\Modules\QR-NZV\WriteLog.R  
f:\FEWS\BOS_NZV_SA\Modules\QR-NZV\fnWriteFewsPI.R  
f:\FEWS\BOS_NZV_SA\Modules\QR-NZV\fnReadFewsPI.R
```

Het eerste script betreft het daadwerkelijke genereren van de kansverwachtingen; de laatste drie zijn functies die door het eerste script worden aangeroepen.

De scripts zijn opgeslagen in de ModuleDataSets die bij de gelijknamige moduleInstances horen:

```
\FEWS\BOS_NZV_SA\Config\ModuleDataSetFiles\QR-122_2.zip  
\FEWS\BOS_NZV_SA\Config\ModuleDataSetFiles\QR-ELB3.zip
```

## 6.1 QR-NZV.R

Ruwweg zijn er in het script drie “taken” te onderscheiden:

1. Pre-processing oftewel het klaarmaken van de data;
2. Uitvoeren van de Quantile Regression en het berekenen van de overschrijdingskansen;
3. Export van kansverdeling en overschrijdingskansen naar PI-xml formaat.

De eigenlijke QR-berekening maakt gebruik van de in de calibratiestap gemaakte rqs-objecten met daarin de parameters uit vergelijking . Deze worden via de standaard `predict` functie uit R gebruikt om QR toe te passen op de nieuw beschikbare deterministische verwachting.

```
# Source functions; load data
rm(list = objects())
for (i in c("fnWriteFewsPI.R", "fnReadFewsPI.R", "WriteLog.R")) { source(i) }
for (i in c("quantreg")) { library(i, character.only = TRUE) }

# Start logging
logFile <- "QR-diagnostics.xml"
WriteHeaderFEWS(logFile)

# Preliminaries
taus <- round( seq(.01, .99, .01), 2)
tauselected <- c(.05, .10, .25, .5, .75, .9, .95)
n <- c(12, 24, 48, 72, 96, 120) #zichttijden waarin we geïnteresseerd zijn
i.n <- 1+4*n #indices van "onze" zichttijden in de reeks van 120x4+1=481 kwartieren

# Read FEWS2HUP PI-timeseries file
a <- fnReadFewsPI("./Export/FEWS2QR.xml")
locId <- a[[3]]$headerValues$locationId

# Bepaal waterstand op t0 en verwachtingen
h0 <- a[[2]]$value[1]; if(is.finite(h0) == F) {h0 <- -999; Write_log_FEWS(logFile, "No finite value for water level at t0", 2)}
sn <- a[[3]]$value[i.n]

# Determine flood warning thresholds
if(locId == "ELB3") {thresholds <- c(-0.63, -0.43, -0.33)}
if(locId == "122_2") {thresholds <- c(-0.63, -0.43, -0.33)}
if(length(thresholds) == 0) {thresholds <- c(-0.63, -0.43, -0.33);
Write_log_FEWS(logFile, "Using default threshold values", 3)}
```

```

# Calculate discretised probability distributions and exceedence probabilities
sn.qr <- matrix(NA, nrow = length(n)+1, ncol = length(taus)); sn.qr[1,] <- h0
P.exc <- matrix(NA, nrow = length(n)+1, ncol = length(thresholds))
if(h0 != -999) { P.exc[1,] <- as.numeric( h0 >= thresholds ) }
for (i in 1:length(n) ) {
  caseId <- paste(locId, "_", sprintf("%03.0f", n[i]), sep = "")
  load( paste(caseId, "-rqs.rData", sep = "") )
  sn.qr[i+1,] <- as.numeric( predict( qr, newdata = list( s = sn[i] ) ) )
  for (th in 1:length(thresholds) ) {
    P.exc[i+1,th] <- 1 - approx(x = sn.qr[i+1,], y = seq(.01, .99, .01), xout = thresh-
olds[th], yleft = .001, yright = .999)$y
  } #thresholds
} #i
Write_log_FEWS(logFile, "Probability distribution and exceedence probabilities successful-
ly estimated", 3)

# Return results in list a which is then exported as a PI-XML file
b <- list()

# First add the exceedence probabilities
for (i in 1:length(thresholds) ) {
  tmp <- list()
  tmp[[1]] <- list(headerValues = list(type = "instantaneous",
                                     locationId = locId,
                                     stationName = a[[3]]$headerValues$stationName,
                                     parameterId = paste("Prob.exc.thr", i, sep = ""),
                                     ensembleId = character(0),
                                     ensembleMemberIndex = character(0),
                                     units = "-",
                                     timeStep = character(0),
                                     startDate = character(0),
                                     endDate = character(0),
                                     missVal = -999),
                 headerAttrs = list(type = as.null(),
                                    locationId = as.null(),
                                    parameterId = as.null(),
                                    timeStep = c( unit = "hour", multiplier = "1"),
                                    startDate = a[[3]]$headerAttrs$startDate,
                                    endDate = a[[3]]$headerAttrs$endDate,
                                    missVal = as.null() ),
                 date = as.character(a[[3]]$date[c(1, i.n)]),
                 time = as.character(a[[3]]$time[c(1, i.n)]),
                 value = as.numeric(P.exc[,i]),
                 flag = sapply(1:length(P.exc[,i]), function(iQ) {flags = 0})) )
  b <- c(b, tmp) } #i

# Then add the -selected- quantiles
for (i in 1:length(tauselected) ) {
  h.ts <- sn.qr[, which(taus == tauselected[i]) ]
  h.ts[which(is.na(h.ts))] <- -999
  tmp <- list()
  tmp[[1]] <- list(headerValues = list(type = "instantaneous",
                                     locationId = locId,
                                     stationName = a[[3]]$headerValues$stationName,
                                     parameterId = "H.forecast.QR",
                                     ensembleId = "QR99",
                                     ensembleMemberIndex = round(100*tauselected[i]),
                                     units = "m",
                                     timeStep = character(0),
                                     startDate = character(0),
                                     endDate = character(0),
                                     missVal = -999),
                 headerAttrs = list(type = as.null(),
                                    locationId = as.null(),
                                    parameterId = as.null(),
                                    timeStep = c( unit = "hour", multiplier = "1"),
                                    startDate = a[[3]]$headerAttrs$startDate,
                                    endDate = a[[3]]$headerAttrs$endDate,
                                    missVal = as.null() ),
                 date = as.character(a[[3]]$date[c(1, i.n)]),
                 time = as.character(a[[3]]$time[c(1, i.n)]),

```

```

        value = as.numeric(h.ts),
        flag = sapply(1:length(h.ts), function(iQ) {flags = 0}) )
b <- c(b, tmp) } #
Write_log_FEWS(logFile, "QR2FEWS.xml object created in memory", 3)

fnWriteFewsPI(b, "./Import/QR2FEWS.xml")
Write_log_FEWS(logFile, "QR2FEWS.xml object written to file", 3)
Close_log_FEWS(logFile)

```

## 6.2 WRITELOG.R, FNWRITEFEWSPI.R EN FNREADFEWSPI.R

Dit betreft een aantal functies die door het QR-script worden aangeroepen:

- WriteLog.R schrijft het log dat door FEWS gelezen wordt;
- fnReadFewsPI.R is een script voor het lezen van PI-XML files
- fnWriteFewsPI.R is een script voor het schrijven van PI-XML files

### 6.2.1 WRITELOG.R

```

# WriteLog.R
# Functionalities to write log-files for Quantile Regression within FEWS
#
# by H.C. Winsemius
# called by: QR_FEWS.R

WriteHeaderFEWS <- function(FEWS_diag){
  kk <- file(paste(FEWS_diag,sep=""), "w") # open log xml-file for FEWS
  # Write header to diagnostics xml-file
  cat('<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>\n', file=kk, sep="")
  cat('<Diag\n', file=kk, sep="")
  cat('
                                xsi:schemaLocation="http://www.wldelft.nl/fews/PI
http://fews.wldelft.nl/schemas/version1.0/pi-schemas/pi_diag.xsd"\n', file=kk, sep="")
  cat('
                                version="1.2"
                                xmlns="http://www.wldelft.nl/fews/PI"
xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance">\n', file=kk, sep="")
  cat('  <line level="4" description="Running R in FEWS"/>\n', file=kk, sep="")
  cat('  <line level="3" description="Running Quantile Regression via R in FEWS"/>\n',
file=kk, sep="")
  cat('  <line level="4" description="Starting R-script"/>\n', file=kk, sep="")
  close(kk)
}

WriteHeaderR <- function(R_diag){
  ll=file(paste(R_diag, sep=""), "w") # open log txt-file for R
  # print arguments to R-log file
  cat('Arguments 1 ',' : ',commandArgs()[1],'\n', file=ll, sep="") # R-executable
  cat('Arguments 2 ',' : ',commandArgs()[2],'\n', file=ll, sep="") # sdi or slave
  cat('Arguments 3 ',' : ',commandArgs()[3],'\n', file=ll, sep="") # restore
  cat('Arguments 4 ',' : ',commandArgs()[4],'\n', file=ll, sep="") # vanilla
  cat('Arguments 5 ',' : ',commandArgs()[5],'\n', file=ll, sep="") # this script
  cat('Arguments 6 ',' : ',commandArgs()[6],'\n', file=ll, sep="") # arguments
  cat('Arguments 7 ',' : ',commandArgs()[7],'\n', file=ll, sep="") # Input-file (provi-
ded by FEWS)
  cat('Arguments 8 ',' : ',commandArgs()[8],'\n', file=ll, sep="") # Output-file (provi-
ded by FEWS)
  cat('Arguments 9 ',' : ',commandArgs()[9],'\n', file=ll, sep="") # T-zero of forecast
(provided by FEWS)
  cat('Arguments 10 ',' : ',commandArgs()[10],'\n', file=ll, sep="") # unused (so far)
  cat('Arguments 11 ',' : ',commandArgs()[11],'\n', file=ll, sep="") # unused (so far)
  # close files

  close(ll)
}

Write_log_FEWS <- function(FEWS_diag, Message, level){
  kk <- file(paste(FEWS_diag,sep=""), "a") # open log xml-file for FEWS
  cat('  <line level="',level,'" description="',paste(Message, "@", Sys.time()),'"/>\n',
file=kk, sep="")
  close(kk)
}

```

```

Write_log_R <- function(R_diag, Message){

  ll=file(paste(WorkFolder, "/", R_diag, sep=""), "a") # open log txt-file for R
  # print arguments to R-log file
  cat(Message,'\n', file=ll, sep="") # R-executable
  close(ll)
}

Close_log_FEWS <- function(FEWS_diag){
  kk <- file(paste(FEWS_diag,sep=""), "a") # open log xml-file for FEWS
  cat('</Diag>\n', file=kk, sep="")
  close(kk)
}

```

### 6.2.2 FNREADFEWSPI.R

```

##
## Read FEWS-PI timeseries XML into R
## Jan Verkade
## version: 2009-10-09
##

fnReadFewsPI <- function(fileName) {

  library("XML")

  ## Read XML file
  doc <- xmlTreeParse(fileName)
  TimeSeriesNode <- xmlRoot(doc)

  seriesList = list()

  for (n in 1:xmlSize(TimeSeriesNode))
  {
    print(n)
    seriesNode <- TimeSeriesNode[[n]]
    if (xmlName(seriesNode) != "series") next

    nNodes <- xmlSize(seriesNode)

    # Read "header" node
    headerValues <- xmlSApply(seriesNode[["header"]], xmlValue)
    headerAttrs <- xmlSApply(seriesNode[["header"]], xmlAttrs)

    # Read "event" nodes
    eventNodeList <- seriesNode[2:nNodes]

    dates <- sapply(eventNodeList, xmlGetAttr, name = "date")
    names(dates) <- rep("date",length(dates))
    times <- sapply(eventNodeList, xmlGetAttr, name = "time")
    names(times) <- rep("time",length(dates))
    values <- as.numeric(sapply(eventNodeList, xmlGetAttr, name = "value"))
    flags <- as.numeric(sapply(eventNodeList, xmlGetAttr, name = "flag"))

    a <- (values == as.numeric(headerValues$missVal))
    values[a] <- NA

    seriesList[[n]] = list(headerValues = headerValues, headerAttrs = headerAttrs, date = dates, time = times, value = values, flag = flags)
  }

  return(seriesList)
}

```

## 6.2.3 FNWRITEFEWSPI.R

```

##
## Write list into FEWS-PI timeseries XML
## Jan Verkade
## version: 2009-10-09
##

fnWriteFewsPI <- function(tsList, fileName) {

  library("XML")

  ## Create TimeSeriesNode
  TimeSeriesNode <- xmlNode('TimeSeries', xmlNode('timeZone', list("0.0")), attrs =
c(version = "1.2", xmlns = "http://www.wldelft.nl/fews/PI", 'xmlns:xsi' =
"http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance", 'xsi:schemaLocation' =
"http://www.wldelft.nl/fews/PI http://fews.wldelft.nl/schemas/version1.0/pi-
schemas/pi_timeseries.xsd"))
  nSeries <- length(tsList)

  for (n in 1:nSeries)
  {
    print(paste("Series",n,"of",nSeries))

    ## Create header node
    print("Create header node")
    headerNode <- xmlNode('header',
tsList[[n]]$headerValues$type, xmlNode('type',
tsList[[n]]$headerValues$locationId, xmlNode('locationId',
tsList[[n]]$headerValues$parameterId, xmlNode('parameterId',
tsList[[n]]$headerValues$ensembleId, xmlNode('ensembleId',
tsList[[n]]$headerValues$ensembleMemberIndex, xmlNode('ensembleMemberIndex',
c(tsList[[n]]$headerAttrs$timeStep[1], tsList[[n]]$headerAttrs$timeStep[2]), xmlNode('timeStep', attrs =
xmlNode('startDate', attrs =
c(tsList[[n]]$headerAttrs$startDate[1], tsList[[n]]$headerAttrs$startDate[2]), xmlNode('startDate', attrs =
xmlNode('endDate', attrs =
c(tsList[[n]]$headerAttrs$endDate[1], tsList[[n]]$headerAttrs$endDate[2]), xmlNode('endDate', attrs =
xmlNode('missVal',
tsList[[n]]$headerValues$missVal), xmlNo-
de('stationName',tsList[[n]]$headerValues$stationName), xmlNode('units',
tsList[[n]]$headerValues$units)
) #headerNode

    # remove ensemble nodes if not required
    if (length(tsList[[n]]$headerValues$ensembleId) == 0) { headerNode <- removeChild-
ren(headerNode, kids = list("ensembleId")) }
    if (length(tsList[[n]]$headerValues$ensembleMemberIndex) == 0) { headerNode <- remo-
veChildren(headerNode, kids = list("ensembleMemberIndex")) }

    seriesNode <- xmlNode('series',headerNode)

    ## Create events
    nEvents <- length(tsList[[n]]$date)
    print(paste("Create", nEvents, "events; start at", date()))
    iEvents <- 1:nEvents
    eventNodeList <- lapply(iEvents, function(iEvent) {
      xmlNode(name = 'event', attrs = c(date =
as.character(tsList[[n]]$date[iEvent]), time = tsList[[n]]$time[iEvent], value =
tsList[[n]]$value[iEvent], flag = tsList[[n]]$flag[iEvent]))
    })
    seriesNode <- addChildren(seriesNode, kids = eventNodeList)

    ## add seriesNode to TimeSeriesNode
    print("Add series node to time series node")
    TimeSeriesNode <- addChildren(TimeSeriesNode, seriesNode)
  }
}

```

```
    } #n  
    print("Save the xml file")  
    saveXML(TimeSeriesNode, file=fileName)  
    return()  
} #end of function
```

APPENDIX 4

# DEELRAPPORTAGE 3

## EVALUATIE OMGAAN MET ONZEKERHEDEN IN BESLUITVORMING- CASE WATERSCHAP NOORDERZIJLVEST





# 1

## INLEIDING

### 1.1 ACHTERGROND

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. In dit project wordt verkend

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.

In voorliggend rapport wordt de oefening van Fase 3 beschreven en de evaluatie daarvan, uitgevoerd in Fase 4.

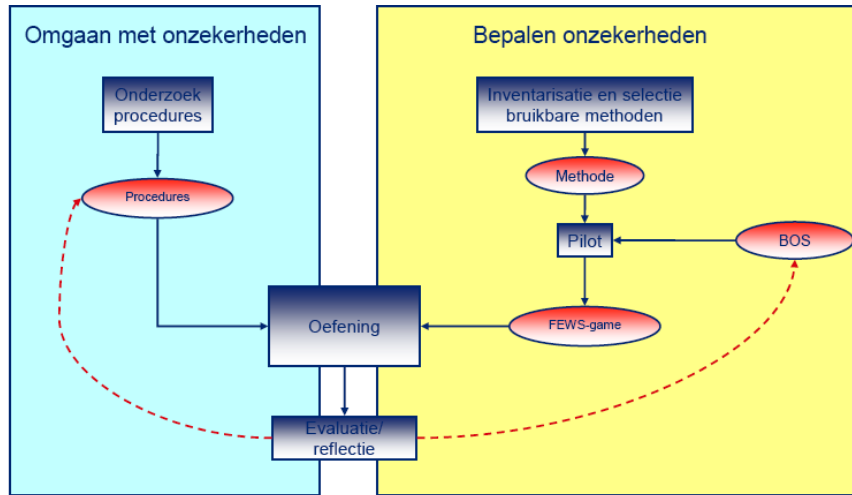
### 1.2 AANLEIDING

Recente gebeurtenissen bij verschillende waterschappen (Regge & Dinkel, Noorderzijlvest, de Dommel / Aa en Maas), zoals een dreigend wateroverlast in augustus 2010 en het hoogwater van januari 2011, laten zien dat waterschappen beslissingen moeten nemen onder onzekerheid variërend van het inzetten van retentiegebieden tot besluiten over inzet van buitendienst gedurende de nacht.

Bovenstaande gebeurtenissen en deze ontwikkeling van kennis hebben geleid tot het project ‘Studie naar de invloed van onzekerheden op besluitvorming in operationele context’. Het project heeft als doel waterschappen beter in staat te stellen stappen te maken om onzekerheden in verwachtingen te benutten om zodoende bestuurlijke keuzes bij waterschappen te

verbeteren. Een belangrijke rol hierbij speelt de afstemming tussen het bepalen van onzekerheden (analyse) en het omgaan met deze onzekerheden binnen de crisisorganisatie van waterschappen (procedures) (Figuur 1).

FIGUUR 1-1 CONTEXT PROJECT 'STUDIE INVLOED VAN ONZEKERHEDEN OP BESLUITVORMING IN OPERATIONELE CONTEXT'



### 1.3 DOEL VAN DIT DOCUMENT

Dit is de rapportage van fase 3 en de evaluatie van het omgaan met onzekerheden (deel fase 4) Het beschrijft;

- De opzet van de oefening met de proceduremodule als middel voor het introduceren en het omgaan met onzekerheden in de crisisorganisatie zoals ontwikkelt binnen dit project. Voor de oefening zijn de volgende oefendoelen gedefinieerd:
  - 1 Inzicht krijgen in de invloed van onzekerheidsinformatie op de advisering en besluitvorming binnen een WOT en WBT
  - 2 Inzicht krijgen hoe onzekerheden mee te nemen in de communicatie tussen zowel operationeel team en beleidsteam, als tussen beleidsteam en Veiligheidsregio
  - 3 Het herkennen van het belang, en het bepalen van protocollen/procedures hoe om te gaan met onzekerheden in de besluitvorming.
- Het verloop van de oefening Case Waterschap Noorderzijlvest
- Evaluatie van de oefendoelen en de algemene lessons learned in het omgaan met onzekerheden

### 1.4 DOCUMENTEN

De oefening is uitgewerkt in het draaiboek 'Oefening onzekerheden bij besluitvorming' case Noorderzijlvest (Appendix 1). Het draaiboek bevat ook het scenario van de oefening op 16 november 2011 bij Waterschap Noorderzijlvest. Tevens bevat dit draaiboek een beschrijving van de evaluatie methodiek en evaluatievragen.

### 1.5 BETROKKENEN

De te oefenen case werd georganiseerd door HKV LIJN IN WATER, Deltares en Waterschap Noorderzijlvest. Daarnaast hebben de leden van de begeleidingscommissie vanuit de STOWA input geleverd voor de oefendoelen en het scenario.

De evaluatie is gebaseerd op een evaluatie direct na de oefening door de deelnemers en toeschouwers en op basis van een evaluatiebijeenkomst van de STOWA begeleidingscommissie.

## 1.6 PRODUCTEN

De eindproducten van dit onderdeel zijn:

- Oefendraaiboek 'oefenen met onzekerheden' dat voor ieder waterschap aangepast kan worden en gebruikt kan worden om omgaan met onzekerheden te oefenen. (draaiboek appendix A)
- Een prototype van de proceduremodule dat voor ieder waterschap ingevuld en geïmplementeerd kan worden
- Lessons learned in omgaan met onzekerheden

# 2

## DE PROCEDUREMODULE ALS HULPMIDDEL BIJ OMGAAN BIJ ONZEKERHEDEN

Binnen dit FC2015 project is naast het opzetten en uitvoeren van een oefening ‘omgaan met onzekerheden’ ook gekeken hoe omgaan met onzekerheden geïntroduceerd en getraind kan worden binnen de calamiteitenorganisaties van de waterschappen. Hiervoor is een prototype ontwikkeld van een proceduremodule gebaseerd op de module gebruikt in de berichten-centra van Rijkswaterstaat Waterdienst. Hier worden modules gebruikt voor opleiden en trainen van (nieuwe) functionarissen.

Voor de oefening is er een prototype van de proceduremodule ontwikkeld gebaseerd op de huidige procedures en opschalingcriteria van waterschap Noorderzijlvest. Deze proceduremodule is in dit project gebruikt om de discussie te faciliteren over het bepalen van procedures en beslissingscriteria bij onzekerheden door deze visueel in kaart te brengen. De opleiding- en oefenfunctie van de module is niet gebruikt in dit project maar kan wellicht in de toekomst een rol gaan spelen.

Dit hoofdstuk beschrijft kort het concept van de proceduremodule en de toepassing voor de oefening van waterschap Noorderzijlvest. In hoofdstuk 3 zal het gebruik van de proceduremodule tijdens de oefening verder beschreven worden.

### 2.1 HET CONCEPT

Alle waterschappen hebben voor hun calamiteitenplannen specifieke bestrijdingsplannen voor verschillende type dreigingen opgesteld. Deze bestrijdingsplannen beschrijven de wijze van melding, beoordeling, alarmering met de bijbehorende acties en procedures die per type dreiging uitgevoerd moeten worden. Na een beoordeling moet besloten worden om wel of niet op te schalen naar een hogere coördinatiefase, zodat het juiste deel van de calamiteitenorganisatie wordt ingezet. In het geval van Waterschap Noorderzijlvest kunnen de bestrijdingstaken bij coördinatiefase fase 0 nog door de normale organisatie uitgevoerd worden en is in coördinatiefase 3 (de hoogste opschalingsfase) de calamiteitenorganisatie van het waterschap volledig actief.

De proceduremodule structureert en traint bovenstaande procedures in de crisisbesluitvorming door de volgende stappen te simuleren:

- 1 Inschatten/Beoordelen van de situatie
- 2 Keuze maken in opschaling
- 3 Uitvoeren procedures (simulatie bellen/mailen berichten opstellen voor media externe partners)
- 4 Monitoren/verificatie voortgang

## 2.2 DE PROCEDUREMODULE ALS HULPMIDDEL BIJ OMGAAN MET ONZEKERHEDEN

Tegelijkertijd met het opzetten van de oefening zijn met Waterschap Noorderzijlvest deze procedures in bestrijdingsplannen ook besproken in het licht van onzekerheden. Tijdens dit gesprek is met name het moment van alarmering en opschaling aangemerkt als kritiek punt in het proces waar, zeker als er onzekerheden meespelen, veel gebruik wordt gemaakt van impliciete kennis. Binnen dit project is daarom ook een mogelijk prototype proceduremodule voor waterschappen ontwikkeld die bij de oefening van waterschap Noorderzijlvest is ingezet.

Het opschalen op basis van een onzekerheidsverwachting is nu nog geen standaard protocol waarvoor heldere beslissingscriteria zijn opgesteld. Dat betekent dat het gebruik van onzekerheidsinformatie zoals het opschalen op basis van deze informatie geen automatisme is. Dit geldt ook voor het werken met scenario's met kansen en gevolgen (scenario kleine kans met groot gevolg als scenario grote kans beperkt gevolg) Daarnaast is het uitvoeren van procedures in de hogere coördinatiefases is niet een proces dat vanzelf goed gaat omdat het dan vaak ingrijpende maatregelen betreft.

De proceduremodule kan worden gebruikt om de discussie te faciliteren over beslissingscriteria bij onzekerheden omdat het de procedures en beslismomenten visueel in kaart brengt en de bijbehorende criteria (ook planningsfase). De proceduremodule kan na het vaststellen van criteria en procedures worden gebruikt om te trainen in omgaan met onzekerheden, deze te benoemen en de keuzes neer te leggen waar ze gemaakt moeten worden (opleidingsfase). Gekoppeld aan de ervaring (zoals benoemd door Noorderzijlvest) dat de alarmering van het crisisproces als een onduidelijk punt wordt ervaren kan een 'proceduremodule' een middel zijn om hier meer ervaring mee op te doen en om dit proces te verkennen en verbeteren.

## 2.3 OPZET VAN DE PROCEDUREMODULE EN OPLEIDINGSDOELEN

De proceduremodule wordt gebaseerd op de workflow zoals beschreven in de calamiteiten bestrijdingsplannen van waterschappen. De computer genereert hierbij de feedback (evenals het ontbreken hiervan) zoals deze in werkelijk ook kan optreden. Hierbij kunnen meerdere mogelijkheden worden meegenomen om alle facetten van de procedures te mee te nemen. Een workflow kan (als voorbeeld) bestaan uit de volgende stappen:

- Inschatting maken situatie o.b.v. verwachtingen inclusief onzekerheid en/of meldingen uit het gebied
- Bepalen type dreiging
- Bepalen bedreigd gebied
- Bepalen coördinatiefase
- Overzicht acties en procedurestappen
- Berichten en instructies opstellen
- Acties uitvoeren (telefoon, sms, mail en fax)

Als basis voor deze module kunnen per type dreiging verschillende scenario's worden voorbereid. Voor de case Noorderzijlvest is een wateroverlast scenario voorbereid en in de module uitgewerkt (zie Hst. 3.2)

Oefendoelen kunnen worden gedefinieerd per activiteit uit de workflow. Hierbij kan onderscheid worden gemaakt in:

- Opleiding: doorlopen van alarmering, opschaling en procedures om hier kennis van te nemen
- Training en oefening: met een overzicht van de geleverde prestaties (inclusief een scorekaart die hiervoor wordt bijgehouden).

<b>Modus</b>	<b>Scenario</b>	<b>Tijdverloop</b>	<b>Puntentelling</b>	<b>Feedback</b>
<b>Training</b>	Eén van de <u>standaard-scenario's</u>	met tijdsprongetjes per handeling	ja	op scherm en in de <u>log-file</u>
<b>Toetsing</b>	Eén van de <u>standaard-scenario's</u> ,	met tijdsprongetjes per handeling	ja	in de <u>log-file</u>
<b>Oefening</b>	vanuit FEWS	Tikkende klok eventueel met versnelling	nee	in de <u>log-file</u>

De module kan worden toegepast door een individu en door een team. Hiermee kan de module onderdeel zijn van een opleidingstraject waarbij deze tenminste eenmaal door een team wordt beoefend. Op termijn kunnen alle bestrijdingsplannen met gewenste scenario's worden toegevoegd. Dit prototype is voor dit project ingevuld op basis de opschalingcriteria en procedures van het bestrijdingsplan peilbeheer voor waterschap Noorderzijlvest. De proceduremodule kan echter voor alle waterschappen worden aangepast met gewenste scenario's en worden ingezet bij opleiden trainen en oefenen.

# 3

## CASE NOORDERZIJLVEST

### 3.1 DE OEFENDOELEN EN DEELNEMERS

De oefening ‘operationeel beslissen met onzekerheden’ was een bestuurlijke oefening bij Waterschap Noorderzijlvest. Het betrof een verkenning van óf en hoe het expliciet inbrengen van onzekerheden in (waterstands)verwachtingen tijdens een calamiteit invloed heeft op besluitvorming en hoe de crisisorganisatie van waterschap Noorderzijlvest hier in de toekomst mee om wil gaan.

Voor de oefening waren een aantal oefendoelen benoemd:

- Inzicht krijgen in de invloed van onzekerheidsinformatie op de advisering en besluitvorming binnen een WOT en WBT
- Inzicht krijgen hoe onzekerheden mee te nemen in de communicatie tussen zowel operationeel team en beleidsteam, als tussen beleidsteam en Veiligheidsregio
- Het herkennen van het belang, en het bepalen van protocollen/procedures hoe om te gaan met onzekerheden in de besluitvorming.

Deze oefendoelen zijn vertaald naar specifieke leerdoelen. Tijdens het waarnemen is met name op deze specifieke punten gelet en zowel op de evaluatieformulieren die direct na afloop van de oefening zijn uitgedeeld als tijdens de evaluatiediscussie achteraf zijn deze punten aan bod gekomen.

Deelnemers van de oefening waren leden van het operationeel team (WOT) en het beleidsteam (WBT) van waterschap Noorderzijlvest, ondersteund door de sectie waterbeheer. Daarnaast waren toeschouwers aanwezig die via een videoverbinding mee konden kijken. Dit waren waterschappen die vanuit het project betrokken zijn als lid van de begeleidingscommissie (BC) en partners uit de veiligheidsregio (VR) Groningen. Tijdens de oefening hebben er twee WOT overleggen en 1 WBT overleg plaatsgevonden. Daarnaast waren er toeschouwers aanwezig die via een video verbinding mee konden kijken. Dit waren waterschappen die vanuit het project betrokken zijn als lid van de begeleidingscommissie en partners uit de veiligheidsregio Groningen.

De ondersteunende sectie waterbeheer deed mee als responscel om de onzekerheidsinformatie toe te lichten. Dit is niet de normale gang van zaken bij waterschap Noorderzijlvest, maar hier is expliciet voor gekozen vanwege het oefendoel 2: meenemen van onzekerheden in de communicatie tussen teams. In Appendix 1 zijn de deelnemers aan de oefening opgenomen.

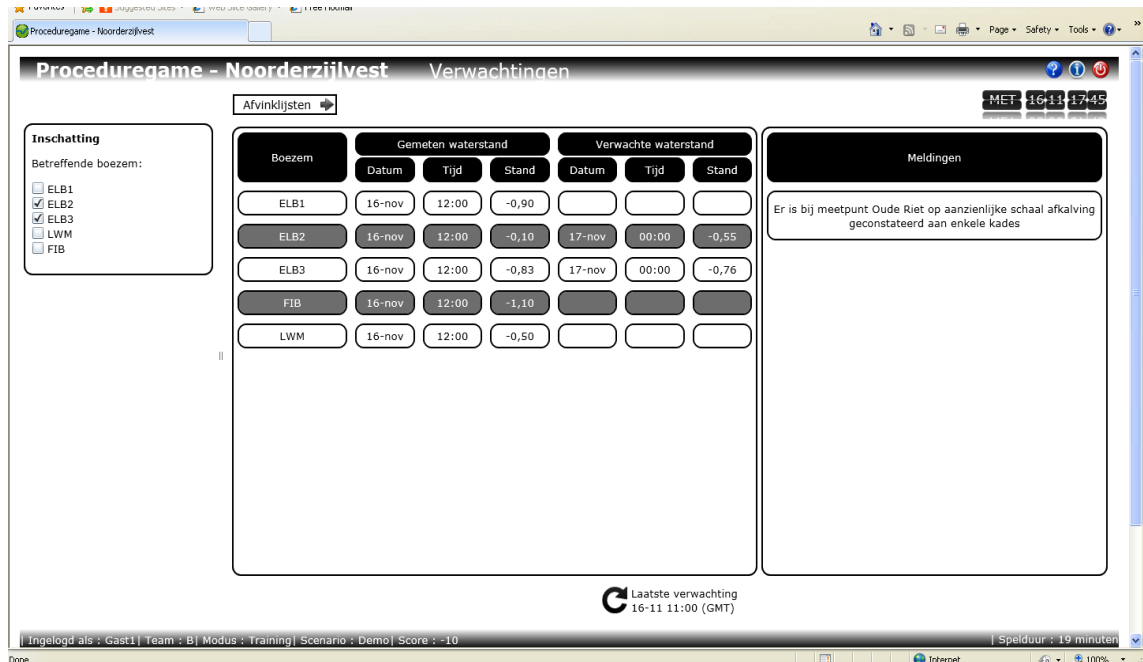
### 3.2 BESCHRIJVING OEFENING

De oefening bestond uit een dreigende wateroverlastsituatie in Leek en Bedum met een zeer korte voorspeltijd (<24 uur) en een grote onzekerheid in de waterstandsverwachtingen. Daarnaast was er een instabiele kade waargenomen bij Leek en waren er grootschalige evenementen met veel bezoekers gepland in de bedreigde gemeentes.



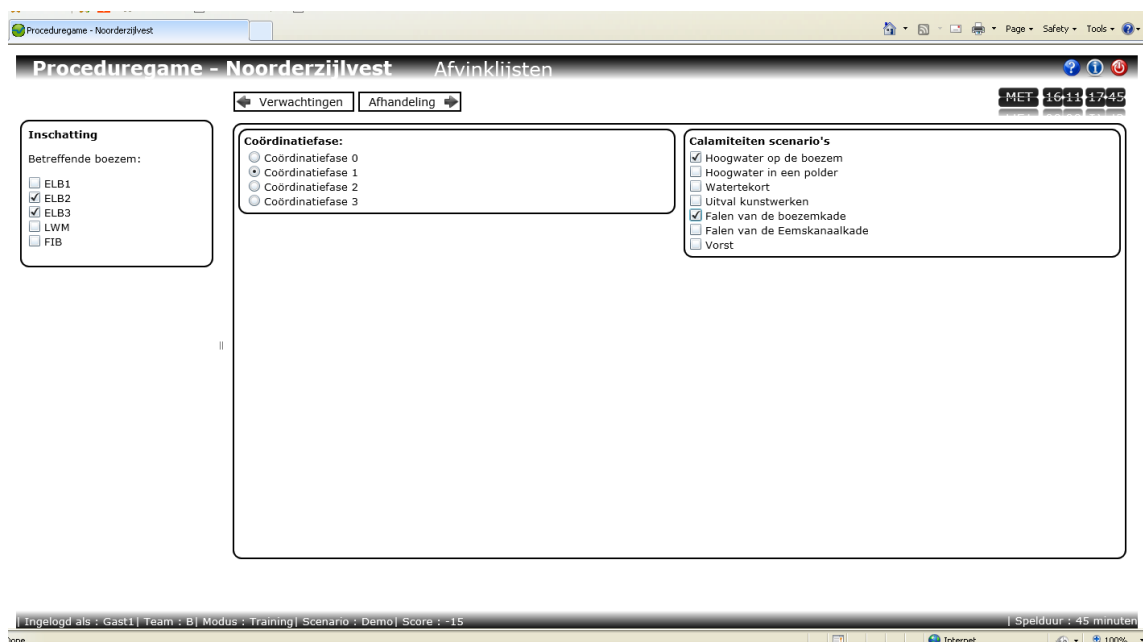
Het scenario werd plenair geïntroduceerd middels het eerste scherm van de proceduremodule. Hierop stonden de huidige waterstanden, verwachte waterstanden en overige meldingen (figuur 3-1).

FIGUUR3-1 SCHEM 1 PROCEDUREMODULE: VERWACHTINGEN EN MELDINGEN OEFENING NOORDERZIJLVEST



Op basis van de melding van de onstabiele kade werd door de oefenleider het type dreiging en het bijbehorende opschalingsniveau vastgesteld in het tweede scherm van de module (figuur 3-2). Door het juiste type dreiging en de coördinatiefase aan te geven komen in scherm 3 (figuur 3-3) de procedures beschikbaar die horen bij dit scenario en coördinatiefase. Een van de bijbehorende acties hierbij is een vergadering van het WOT waarop vervolgens het WOT van Noorderzijlvest daadwerkelijk ging vergaderen.

FIGUUR 3-2 SCHEM 2 PROCEDUREMODULE BEPALEN TYPE DREIGING EN OPSCHALING



FIGUUR 3-3 SCHEM 3 PROCEDUREMODULE UITVOEREN PROCEDURES

Proceduregame - Noorderzijlvest

Proceduregame - Noorderzijlvest Afhandeling

Afvinklijsten

MET 16:11 16:00

**Inschatting**  
Betreffende boezem:

- ELB1
- ELB2
- ELB3
- LWM
- FIB

**Handelingen**

Algemeen | ELB1

1 - 10 11 - 20 21 - 30 31 - 40

Afgehandeld	Nummer	Handeling
<input type="checkbox"/>	25	Het WOT neemt tactische besluiten en coördineert op tactisch niveau de werkzaamheden
<input type="checkbox"/>	26	Zo nodig in laten stellen ondersteunende sectie(s)
<input type="checkbox"/>	27	Informeren meldkamer Noord Nederland
<input type="checkbox"/>	28	Informeren veiligheidsregio en betreffende gemeente(n) (ambtelijk)
<input type="checkbox"/>	29	Coördineren bijstand
<input type="checkbox"/>	30	Informeren WAT en betrokken externen over de situatie door middel van sitraps
<input type="checkbox"/>	31	Informeren WAT, WBT en betrokken externen over afschaling dan wel opschaling
<input type="checkbox"/>	32	Verzorgen van berichten voor omwonenden en media
<input type="checkbox"/>	33	Bijhouden logboek

Ingelogd als: Gast1 | Team: B | Modus: Training | Scenario: Demo | Score: 0 | Spelduur: 1 minuten

Tijdens de oefening hebben het WOT en het WBT na elkaar vergaderd. In de eerste WOT vergadering werd het nieuwe soort informatie met onzekerheden (kansverwachting) geïntroduceerd. De tweede vergaderronde speelde 6 uur later. Inmiddels was de situatie verslechterd. Aansluitend kwam de WBT bijeen, waarbij de Operationeel Leider van het WOT het WBT informeerde over de te verwachte waterstanden en de kansverwachting van die verwachtingen.

FIGUUR 3-4 HET WOT VERGADERT TWEEMAAL, BINNENKAMERS



FIGUUR 3-5 HET WOT IS TE VOLGEN DOOR DE GASTEN VIA EEN VIDEO VERBINDING



FIGUUR 3-6 TENSLOTTE KOMT OOK HET WBT BIJEEEN, TERWIJL HET WOT EN DE GASTEN MEEKIJKEN



### 3.3 BELANGRIJKE ELEMENTEN

Belangrijke elementen die meespeelden in de oefening waren de volgende:

- Gebruik van nieuw soort informatie over verwachte waterstanden. Deze werden gepresenteerd met een onzekerheidsband. (figuur 3.7 en 3.8)
- Meekijken van andere betrokkenen (waterschappen, partners uit de algemene crisiskolom)

FIGURE 3-7 DE GEPRESENTEERDE ONZEKERHEIDSBAND VOOR DE VERWACHTE WATERSTAND

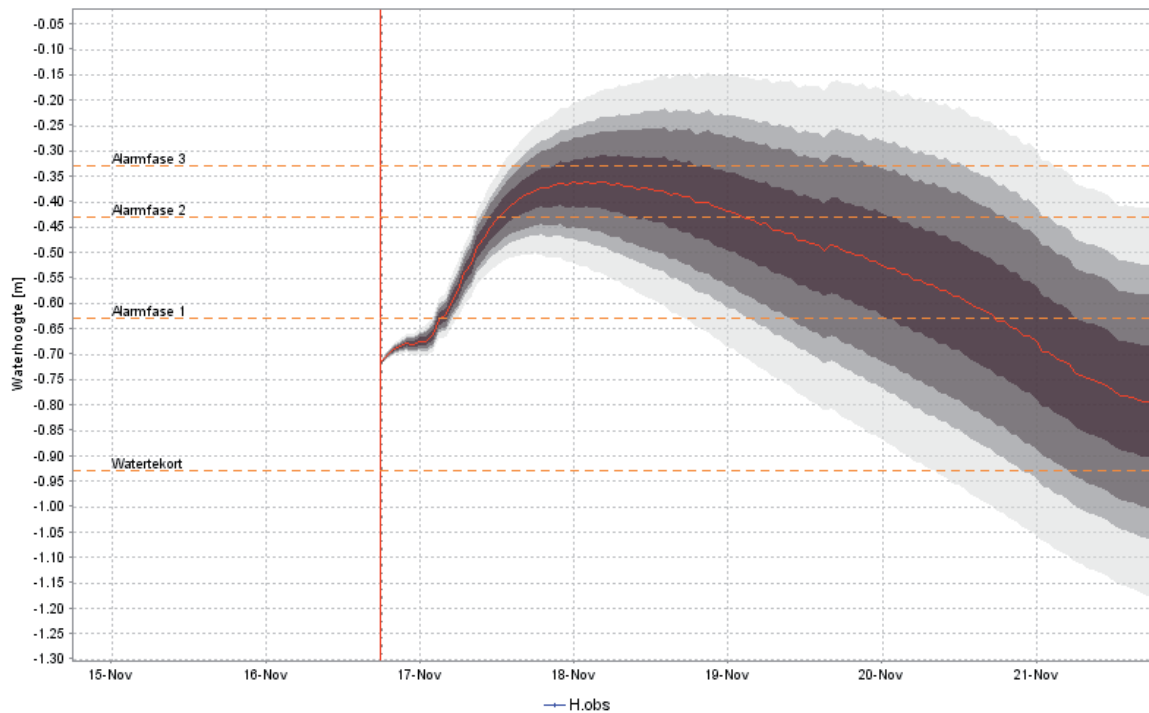
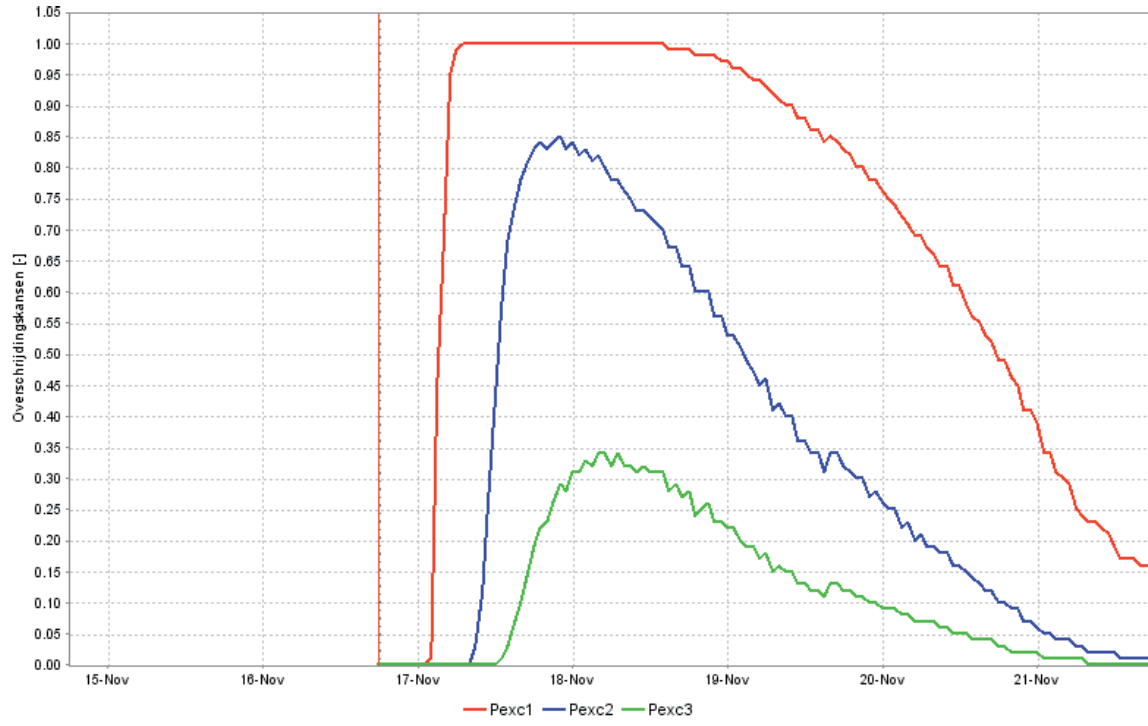


FIGURE 3-8 DEZELFDE INFORMATIE, NU OP ANDERE WIJZE GEPRESENTEERD



# 4

## EVALUATIE EN LESSONS LEARNED

### 4.1 EVALUATIE VAN DE OEFENING

Om een beeld te krijgen van hoe en op welke manier onzekerheden een rol kunnen spelen bij de besluitvorming is de oefening geëvalueerd op basis van verschillende onderdelen:

- Observaties van de observanten aanwezig in de vergaderruimte
- Evaluatieformulieren en vragenlijsten ingevuld door de deelnemers en toeschouwers direct na de oefening zelf
- Plenaire discussie achteraf, voor de zogenaamde “First impression”.
- Reflectiebijeenkomst met Begeleidingscommissie

In de observatiepunten, de evaluatieformulieren en tijdens de plenaire discussie waren vragen en aandachtspunten opgenomen over de leerdoelen. Het evaluatieformulier bevatte ook nog vragen over de opzet en uitvoering van de oefening in het algemeen. Alle evaluatievragen en de observatiemethode zijn terug te vinden in het oefendraaiboek in Appendix 1. Onderstaande paragrafen bespreken per leerdoel aan wat de resultaten waren. De volledige uitwerking van de evaluatie is te vinden in Appendix 2: Evaluatie case Noorderzijlvest. In Appendix 3 : Opmerkingen reflectiebijeenkomst zijn de opmerkingen opgenomen die tijdens de bijeenkomst met de begeleidingscommissie zijn gemaakt.

#### 4.1.1 ALGEMEEN

De opzet van de oefening heeft er toe geleid dat de deelnemers tijdens de evaluatie zelf belangrijke leerpunten en aandachtspunten konden aangeven m.b.t. omgaan met onzekerheden. Enkele voorbeelden hiervan zijn; de behoefte aan het vooraf opleiden en trainen in het omgaan met onzekerheidsinformatie; de noodzaak om beslisriteria af te spreken (wanneer is de kans groot genoeg), een informatieverantwoordelijke aan te wijzen en om afspraken te maken over wie de onzekerheidsanalyse uitvoert. Dit is van groot belang in het verder omgaan met onzekerheden binnen de crisisorganisatie van waterschap Noorderzijlvest. Omdat de oefendoelen vooral inhoudelijk waren ingestoken leverde dit soms frictie op met het vergaderproces.

#### 4.1.2 INVLOED ONZEKERHEDEN OP BESLUITVORMING

Oefendoel 1: Inzicht krijgen in de invloed van onzekerheidsinformatie op de advisering en besluitvorming binnen WOT en WBT

- 1 Inschatten situatie op basis van een kansverwachting met aangegeven onzekerheid.
  - a. Het beoordelen van de bruikbaarheid/toepasbaarheid van een kansverwachting
  - b. Het voorbereiden van bestuurlijke beslissingen op basis van deze onzekerheidsinformatie
  - c. Het baseren van een advies of besluit over strategische dilemma's op onzekerheden

Uit observatie bleek dat bij het WOT de onzekerheidsinformatie een soort verlamming optrad door de hoeveelheid informatie en moeite om deze te kunnen duiden. Gevolg was dat de overlegstructuur niet meer gevolgd werd en bepaalde onderdelen onderbelicht werden. Bij het

WBT ging dit beter. Bij het WBT werd de onzekerheidsinformatie door het WOT op een meer compacte wijze gepresenteerd. Dit leek een positief effect te hebben op de overlegstructuur, maar dit kan ook komen doordat het WBT meer ervaring heeft om met dit soort informatie om te gaan. De deelnemers van de oefening hebben aangegeven dat de extra onzekerheidsinformatie resulteerde in beter onderbouwde, meer genuanceerde, beslissingen en adviezen. In de oefening werd, als extra service aan een gemeente, een voorwaarschuwing uitgegeven. Dit is ongebruikelijk, maar werd door de deelnemers als prettig ervaren en was mogelijk door de verstrekte onzekerheidsinformatie.

In de discussie achteraf werd duidelijk dat naast de onzekerheden ook de gevolgen een belangrijke rol spelen in het maken van de juiste afweging en besluiten. Volgens de deelnemers hebben de gevolgen een grote invloed gehad op de gemaakte besluiten tijdens de oefening en met name in de WBT vergadering.

Uit de oefening is gebleken dat de onzekerheden in deze situatie wel degelijk invloed hebben gehad op de besluitvorming. Mits op de juiste wijze geïntroduceerd en geduid, heeft de onzekerheidsinformatie tot beter onderbouwde en genuanceerdere beslissingen en ook tot andere beslissingen heeft geleid. Naast onzekerheden spelen de gevolgen ook een belangrijke rol voor de besluitvorming. Dit is een belangrijk aspect om mee te nemen in volgende projecten en oefeningen.

#### 4.1.3 INFORMEREN EN COMMUNICEREN OVER ONZEKERHEDEN

Oefendoel 2: Inzicht krijgen hoe onzekerheden mee te nemen in het presenteren van de informatie tussen zowel operationeel team en beleidsteam, als tussen beleidsteam en Veiligheidsregio

- 2 Ervaring op doen met het helder en specifiek communiceren van onzekerheid in
  - a Het informeren van het BT over de onzekerheid
  - b Het informeren van de VR over de onzekerheid

Omdat de meeste aandacht tijdens de WOT overleggen uitging naar het duiden van de onzekerheidsinformatie werd duidelijk dat het presenteren van en informeren over de onzekerheden een belangrijk zijn. Het niet gelijk kunnen duiden van de informatie leidde tot een vertraagd proces waardoor andere onderdelen niet aan bod kwamen door tijdsnood zoals communicatie en te nemen acties.

Bij het doorgeven van onzekerheden richting het WBT zijn, door een selectie te maken, de nuances weggevallen. Het strakker en minder uitgebreid presenteren van de onzekerheden leek een positief effect op de vergaderstructuur van het WBT te hebben.

Daarnaast is aangegeven door de deelnemers en toeschouwers dat ze graag geïnformeerd willen worden over de onzekerheden. Hierdoor kunnen (ook al is de kans klein) mogelijke scenario's opstellen, risico's inschatten en zo tijdig kijken welke maatregelen ze kunnen/willen nemen en hier al voorbereidende acties voor uitvoeren. Maar in de discussie achteraf is ook gesproken over het wel of niet informeren van derde partijen over scenario's met een kleine kans. Aangegeven werd dat je wellicht informeel toch betrokken bestuurders kan informeren en voor de veiligheidregio (formeel) uitgaat van meest waarschijnlijke scenario. Door wel te informeren kunnen voorbereidende acties worden uitgezet die uiteindelijk mogelijk niet uitgevoerd hoeven te worden. Samenwerken en communiceren is hierbij belangrijk. Het is dan ook wenselijk inzicht te hebben in het risico en de onderliggende factoren. Op basis hiervan



kan een keuze worden gemaakt. Het is hierbij belangrijk om vooraf dit op te nemen in procedures want de vraag is nog wel wanneer je iets gaat voorleggen, het is niet gewenst om bij iedere uitschieter in verwachtingen naar externe partners te gaan.

Het is inzichtelijk geworden dat de wijze van informeren en communiceren invloed heeft op het besluitvormingsproces. Een overvloed aan informatie en het niet getraind zijn in het omgaan met onzekerheden kan vertragend werken. Het beknopt presenteren van onzekerheden leek tijdens de oefening te hebben bijgedragen tot de snelle besluitvorming van het WBT. Een duidelijk optimale wijze van communiceren is echter nog niet naar voren gekomen uit deze oefening en de verwachting is dat dit per team en wellicht per waterschap zal verschillen. Uit de oefening bleek het wenselijk dat er in het WOT een procesverantwoordelijke wordt aangewezen die de onzekerheden inbrengt op een manier die voor iedereen helder is. Vooraf afspraken maken hierover en training is hierbij noodzakelijk. In een vervolgproject kan vervolg onderzoek worden gedaan naar de optimale wijze van presenteren van onzekerheden.

#### 4.1.4 PROCEDURES

Oefendoel 3: Het herkennen van het belang, en het bepalen van protocollen/procedures hoe om te gaan met onzekerheden in de besluitvorming.

- 3 Bestrijdingsplan wateroverlast
  - a Gebruik van het actuele bestrijdingsplan wateroverlast in combinatie met onzekerheidsinformatie
  - b Aangeven of/hoe er gebruik gemaakt kan worden van procedures/protocollen in het bestrijdingsplan.

Het is belangrijk om onzekerheden een plek te geven in de procedures. Deelnemers uit alle teams noemden de noodzaak om verantwoordelijkheden, rollen en taken bij het omgaan met onzekerheden af te spreken (wie doet wat) als ook het vaststellen van besliscriteria wanneer er wat gedaan wordt (op basis van welke kans). In de voorbereiding van de oefening moest bijvoorbeeld een extra reden ingebracht worden om op te schalen (de instabiele kade), want op basis van de in de huidige procedures waren de verwachte extreme waterstanden nog geen reden om op te schalen of om een bijeenkomst van het WOT te verantwoorden. Dit ondanks dat de korte verwachtingstijd en de extreem hoge verwachte waterstanden. Daarnaast spelen ook de gevolgen van een scenario een belangrijke rol. Bij grote gevolgen met een kleine kans kan men ook besluiten over te gaan tot actie. Ook werd het belang van opleiden en oefenen genoemd, de procedures m.b.t onzekerheden moeten goed bekend zijn voordat er een calamiteit zich voordoet en kunnen goed in de koude fase geoefend worden.

Het evalueren van de proceduremodule zelf was geen oefendoel en daarom niet meegenomen als evaluatiepunt. De opzet tijdens deze oefening was om (naast het introduceren van het scenario) de module tijdens de evaluatiediscussie als facilitatie tool om procedures en eventuele besliscriteria te bepalen en hier al afspraken over te maken. Na afloop werd door het verloop van de discussie besloten de oorspronkelijke opzet los te laten en de module hiervoor niet te gebruiken. Dit omdat de discussie nu nog meer gericht was op het herkennen van het belang van het vastleggen van protocollen en procedures m.b.t. het omgaan met onzekerheden en nog niet op wat deze dan concreet kunnen zijn. Dit kan in een vervolgstadium natuurlijk wel gedaan worden. Wel is tijdens

Het afspreken van besliscriteria en procedures zijn door de deelnemers van groot belang genoemd om onzekerheden een plaats te geven binnen de crisisorganisatie zoals die van Waterschap Noorderzijlvest. Dit vereist wellicht aanpassing van huidige bestrijdingsplannen.

Deze procedures moeten vooraf geoefend worden zodat de teams er vertrouwd mee raken en inzicht verkrijgen wie wat doet. Hoe deze procedures en beslisriteria eruit zien is niet helder geworden tijdens de oefening.

#### 4.1.5 PARTNERS

Da aanwezige partners van de veiligheidsregio hebben aangegeven geïnformeerd te willen worden over de onzekerheden. Het liefst zo vroeg mogelijk. Daarnaast is aan de aanwezige partners van de veiligheidsregio gevraagd welke informatie van hun voor belang is. Het belangrijkste aspect dat genoemd is zijn de effecten of consequenties van de waterstanden voor:

- Aantasting infrastructuur voor het opstellen van een mobiliteitplan voor eventuele evacuatie
- Risicoanalyse opstellen voor het gebied voor openbare orde en veiligheid
- Alvast in beeld brengen risicovolle objecten.
- Voorlichtingsplan

#### 4.1.6 ORGANISATIE OEFENING

Iedereen heeft in het evaluatieformulier aangegeven dat de oefenopzet en de organisatie als goed werd ervaren. Het scenario bevatte genoeg aanknopingspunten voor de oefendoelen. Het scenario werd door alle deelnemers als realistisch ervaren.

Er zijn ook verbeterpunten aangegeven zoals o.a. het aantal meekijkers kan minder, meer aandacht in de oefenopzet voor de wijze van introductie van het scenario. Omdat de oefendoelen vooral inhoudelijk waren ingestoken leverde dit soms frictie op met het vergaderproces.

## 4.2 LESSONS LEARNED

Samen met de begeleidingscommissie van STOWA is besproken hoe de resultaten van dit project bij waterschap Noorderzijlvest ook ingezet kunnen worden bij andere waterschappen. Tijdens deze bijeenkomst is eerst een samenvatting gegeven van het verloop van de oefening. De bij de oefening aanwezige BC leden vertelden eerst over hun eigen waarnemingen en ervaring. Daarna volgde een plenaire brainstormsessie over hoe onzekerheden verder vorm kunnen krijgen bij besluitvorming (voor de volledige lijst met resultaten uit deze brainstorm zie appendix C)

### 4.2.1 RUIMTE VOOR ONZEKERHEDEN BINNEN ORGANISATIES

Men merkte op dat het waterschap Noorderzijlvest open stond voor het gebruik van kansen en onzekerheden in de crisisorganisatie en dat de algemene veronderstelling was dat de mensen binnen de organisatie daar wel mee om kunnen gaan. De verwachting werd geschetst dat wellicht niet alle waterschappen zo'n open houding hebben ten aanzien van onzekerheden. Het is daarom goed om van tevoren over de presentatievorm van onzekerheden na te denken. Hoe hiermee om te gaan richting verschillende groepen, dat kan nuance brengen in het debat.

### 4.2.2 DUIDEN VAN ONZEKERHEDEN

Er ging nu veel tijd verloren met discussie over de onzekerheden zelf, daar is tijdens een echte crisis wellicht geen ruimte voor. Omdat er zoveel tijd verloren ging aan het duiden van onzekerheden werd de behoefte geuit om onzekerheden in te dikken om te begrijpen wat die onzekerheden betekenen. Bijvoorbeeld door een inhoudelijk deskundige de onzekerheden eerst te laten filteren. De onzekerheid zelf werd niet ter discussie gesteld (waarom is het zo onzeker/zeker, waarom neemt de onzekerheid toe), maar als een gegeven beschouwt.



#### 4.2.3 CONSEQUENTIES

Duidelijk was dat naast de onzekerheden de consequenties een belangrijke rol spelen in de besluitvorming. Bij grote gevolgen met een kleine kans gaat men ook over tot actie. Soms is effect meer sturend in de besluitvorming dan de onzekerheid. Bij grote gevolgen ga je bij een kleinere kans al sneller tot actie over dan bij kleine gevolgen. Hier moet men tijdens de koude fase goed over nadenken en procedures voor opstellen. Besluitvorming moet worden gebaseerd op een risicobenadering. Deze toepassing van de risicobenadering in crisissituaties kan het beste eenduidig door de waterschappen worden uitgewerkt en vormgegeven.

#### 4.2.4 LEAD TIME

Tijdsaspecten zijn impliciet mee genomen in de oefening (verschillende tijdstappen en een tijd-as in de figuren). Er bestaat de behoefte om deze nog explicieter te maken in de oefenopzet dan in dit scenario is gedaan.

#### 4.2.5 OMGAAN MET ONZEKERHEDEN BINNEN DE ORGANISATIE

De behoefte aan meer informatie wordt vaak geuit tijdens crises. Echter het presenteren van meer informatie leidde in de oefening tot verlamming. Dat is niet de bedoeling, en kan wellicht aangepakt worden door geen plaatjes in te brengen maar wel scenario's met de daarbij behorende kans en de mogelijke schade en acties.

Als er verwachtingen worden afgegeven moeten er vooraf besliscriteria zijn gebaseerd op de onzekerheden. Dit moet tijdens de koude fase worden vorm gegeven en in procedures worden vastgelegd.

De presentatie van onzekerheden moet glashelder zijn, evenals bijbehorende rolverdeling en verantwoordelijkheden. De hoeveelheid informatie en wie welke informatie krijgt moet worden bepaald. De grafieken kunnen wel in een WOT gepresenteerd worden maar de informatie moet van te voren al helder zijn. De meest ideale communicatievorm staat echter nog niet vast (tabellen, grafieken, scenario's) en verschilt mogelijk per team.

#### 4.2.6 OPLEIDING

Mensen binnen waterschappen zijn nu nog niet voldoende opgeleid/getraind om onzekerheidsinformatie (in crisissituaties) te kunnen interpreteren. Door de BC leden werd aangegeven dat met name de ondersteuning/specialisten op interpretatie en betekenis getraind moeten worden zodat het calamiteitenproces niet verstoord wordt door het duiden van de informatie. Vooraf moet de hele calamiteitenorganisatie wel ingelicht worden over het gebruik van onzekerheidsinformatie en moeten er gezamenlijk afspraken worden gemaakt hoe hiermee om te gaan.

#### 4.2.7 ONZEKERHEDEN IN BESLUITVORMING

Uit de oefening kwam naar voren dat expliciete onzekerheidsverwachting bestuurders helpt bij nemen verantwoordelijkheden en tijdens de brainstormsessie werd dit onderschreven.

#### 4.2.8 PROCEDURE

Wanneer kansen of scenario's worden geïntroduceerd moeten er ook beslissingscriteria worden opgenomen. Wat is een grote kans of risico en wat betekent dit voor afspraken in de procedures. Besliscriteria en verantwoordelijkheden moeten bij introductie van onzekerheden opnieuw worden bekeken. Nu worden veel van de onzekerheidsanalyses impliciet uitgevoerd door medewerkers. De vraag werd gesteld of waterschappen het beste gezamenlijk op kunnen trekken in het omgaan met onzekerheden d.m.v. een handboek of eenduidige procedures of dat ze vooral samen moeten leren en delen.

#### **4.2.9 OEFENING**

De opzet van de oefening is een goede standaard om ook bij andere waterschappen toe te passen. In een volgende oefening kan het werken met scenario's in omgaan met onzekerheden (vorm) worden geoefend. Ook kan worden geoefend met externe partners. Het is leerzaam om als waterschappen samen vaker met elkaar mee te lopen.

# 5

## CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

Dit rapport richt zich op de resultaten van de oefening bij waterschap Noorderzijlvest en de evaluatiediscussie achteraf over invloed van onzekerheden op besluitvorming. Onderstaande conclusies en aanbevelingen hebben dus geen generiek karakter. Op basis van de uitgevoerde oefening bij waterschap Noorderzijlvest en de daaropvolgende discussies luiden de belangrijkste conclusies en aanbevelingen als volgt:

- Volgens de deelnemers droeg informatie over onzekerheden bij aan een transparantere besluitvorming. Doordat advies en besluiten beter onderbouwd konden worden werd het risico daardoor inzichtelijker. Dit kan imagoschade helpen voorkomen door ondoorzichtig en daardoor 'onbegrijpelijk' optreden.
- In de case van waterschap Noorderzijlvest heeft het gebruik van onzekerheden geleid tot een genuanceerdere besluitvorming. Er is in de oefening een voorwaarschuwing met alternatief handelingsperspectief afgegeven (namelijk verplaats evenement naar hoger gelegen deel voor extra zekerheid) richting de burgemeester van een bedreigde gemeente terwijl dit niet in de procedures staat.
- Naast onzekerheden hebben de gevolgen (en de onzekerheden hierin) invloed op de besluiten. Het combineren van de kans met de gevolgen is nu al wel aanwezig binnen crisisorganisaties, alleen gebeurt dit vaak nog op impliciete wijze. Het benoemen van de onzekerheden en gevolgen worden nu nog niet gestructureerd meegenomen. Werken met scenario's werd aangegeven als mogelijke manier hiermee om te gaan
- De partners uit de veiligheidregio's (gebruikers van de informatie en verantwoordelijk voor het algemeen belang) willen inzicht in onzekerheden en de consequenties hiervan. Het liefst vroeg in het proces omdat zij dan ook andere gevolgen in kaart kunnen brengen waar het waterschap niet direct aan denkt.
- Een belangrijk punt van aandacht is de manier hoe onzekerheden te presenteren en te gebruiken in de crisisteams. Als dit niet vooraf afgesproken en bekend is bij de teamleden leidt het tot vertraging en verwarring binnen de crisisorganisatie. Mogelijkheid is om met verschillende what-if scenario's te werken. Op basis van de onzekerheden in verwachtingen kunnen er drie klassen worden gemaakt die een ernst van de situatie omschrijven (extreem, verwacht, niks), iedere klasse heeft een eigen waarschijnlijkheid.
- Crisisorganisaties moeten vooraf opgeleid en getraind worden in het omgaan met onzekerheden. De adviseur zal de kennis over onzekerheden duidelijk moeten presenteren op het niveau van de ontvanger.
- Voor verschillende waterschappen spelen verschillende risico's en onzekerheden een rol. Er is nu alleen gekeken naar de waterstand, maar andere aspecten (bijv. onzekerheid in de dijksterkte, onzekerheid in het effect van maatregelen, reistijd, maatschappelijke impact etc) met bijbehorende gevolgen moeten ook bekeken worden.
- Waterschappen zien het omgaan met onzekerheden binnen de crisisorganisatie als een gewenste ontwikkeling die verder ontwikkeld moet worden om de besluitvorming te verbeteren.

De belangrijkste aanbevelingen luiden als volgt:

- Omgaan met onzekerheden is in de praktijk nog lastig omdat ervaring ontbreekt. Het leren omgaan met onzekerheden is een iteratief proces die het liefst gezamenlijk door de waterschappen doorlopen moet worden. Het is aanbevolen dit in kleine stappen (workshops, trainingen, table top oefeningen) te doen waarbij soms grote oefeningen worden uitgevoerd voor het behouden van awareness.
- Gegeven dat er per waterschap verschillende onzekerheden zijn met verschillende risico's moet er gekeken worden hoe deze vormgegeven kan worden.
- In huidige calamiteitenprocedures in rampenplannen zijn nauwelijks besliscriteria opgenomen gebaseerd op kansverwachtingen en onzekerheden. In de koude fase kunnen deze verder vorm krijgen door het aanpassen van procedures.
- Train het omgaan met onzekerheden binnen de crisisorganisatie op alle niveaus (voorspeller, WOT, WBT, communicatie) in de koude fase zodat de organisatie in staat is om te gaan met de onzekerheden, de beslissingen kan leggen waar die horen, dat scenario's kunnen worden opgesteld, en risico's kunnen worden afgewogen.
- De wijze om onzekerheidsinformatie te presenteren is van groot belang gebleken, maar de optimale wijze om dit te doen is nog niet gestandaardiseerd. Het inzichtelijk maken van risico's is daarom gewenst. Er dient daarom in het vervolgtraject specifieke aandacht uit te gaan naar het definiëren van een passende vorm voor het presenteren van onzekerheden per team zodat de besluiten op het juiste niveau genomen worden. Er zijn al meerdere initiatieven op dit gebied ontwikkeld (bijv. Stuurgroep Management Overstromingen) en is het raadzaam om deze kennis te gebruiken.

## APPENDIX 1

## DEELNEMERS EN DRAAIBOEK

Naam	Functie / Rol in oefening
<b>WOT</b>	
Theo Kortenkool	Operationeel leider
Hans Bergsma	Procesmanager watersystemen
Ate Wijnstra	Procesmanager waterveiligheid
Treja Akkerman	Communicatieadviseur
Bert de Graaf	Calamiteitencoördinator
Hetty Bleeker	Logboekschrijver
Menno van der Meer	Voorzitter WAT
<b>WBT</b>	
Henk van 't Land	Dijkgraaf
Harry Ruben	DB-lid
Theo Kortenkool	Operationeel leider
Reny Hogendorp	Communicatieadviseur
Tineke Kramer	Logboekschrijver
<b>Ondersteunende sectie</b>	
Jannes Schenkel	hydroloog/peilbeheerder
Floris Knot	hydroloog/peilbeheerder
Arne Roelevink	hydroloog/peilbeheerder
<b>Oefenstaf</b>	
Bas Kolen	Oefenleider (in de WOT/WBT kamer)
Marjolein de Jong	Notulist (focus op discussie rondom onzekerheden)
Simone De Kleermaeker	Observator (in de WOT/WBT kamer)
Johan Kruithof (WAT voorzitter)	Observator (in de WOT/WBT kamer)
Jan Gooijer	<b>NZV</b>
<b>Gasten</b>	
Jan Verkade	<b>Deltares</b>
Arnejan van Loenen	<b>Deltares</b>
<b>Begeleidingscommissie</b>	
Jeroen van der Scheer	WS Regge en Dinkel
Albrecht Siering	WS Hunze en Aas
Henk van der Ley	WS Hunze en Aas
Jan Peter Alberts	Politie: senior adviseur conflict en crisisbeheersing
Henniëlle Dam	Coördinator crisismanagement Veiligheidsbureau Groningen
Tomas Faber	Veiligheidsregio Groningen: v.m. commandant regionale brandweer Groningen

## APPENDIX 2

## EVALUATIE CASE NOORDERZIJLVEST

**ALGEMEEN VERLOOP VAN DE OEFENING EN PER TEAM**

Rekening houdend met de 'andere gang van zaken' zijn de deelnemers van de calamiteitenorganisatie van Waterschap Noorderzijlvest er ondanks de nieuwe onzekerheidsinformatie uiteindelijk in geslaagd om informatie te delen en prioriteiten aan te wijzen.

De opzet van de oefening heeft er toe geleid dat de deelnemers tijdens de evaluatie zelf een aantal belangrijke leerpunten en aandachtspunten konden aangeven m.b.t. omgaan met onzekerheden. Enkele voorbeelden hiervan zijn; de behoefte aan het vooraf opleiden en trainen in het omgaan met onzekerheidsinformatie; de noodzaak om besliscriteria af te spreken (wanneer is de kans groot genoeg), een informatieverantwoordelijke aan te wijzen en om afspraken te maken over wie de onzekerheidsanalyse uitvoert. Dit is van groot belang in het verder omgaan met onzekerheden binnen de crisisorganisatie van waterschap Noorderzijlvest. Omdat de oefendoelen vooral inhoudelijk waren ingestoken leverde dit soms frictie op met het vergaderproces. Doordat er lang werd stilgestaan bij het duiden van de onzekerheidsinformatie werd de BOB-structuur (Beeldvorming, Oordeelvorming en Besluit) op een gegeven moment in het WOT niet meer strak gevolgd, en dit leverde vertraging en onduidelijkheden. Dit is een belangrijke punt van aandacht voor toekomstige oefeningen.

Zowel deelnemers als toeschouwers hebben aangegeven dat ze het belangrijk vinden dat onzekerheden worden meegenomen tijdens het besluitvormingsproces en dat het goed is elkaar hierover te informeren.

Er veel aandachtspunten naar boven gekomen om mee te nemen in de praktijk, vervolgentrainingen en -oefeningen bij het verder vormgeven van omgaan met onzekerheden binnen het waterschap. De belangrijkste worden hier per groep beschreven.

**OBSERVATIES WOT**

- Structuur vergadering: 1e WOT volgens BOB gestart
  - a. B: Kansverwachting wordt benoemd / toegelicht;
  - b. O: OL benoemt de kansen per gebied (xx%) en stelt deze zo als het ware vast hij, krijgt hierop geen commentaar van de overige leden
  - c. B: Grote behoefte aan zekerheid: onzekerheden werden zekerheden (95% werd 99% in spreektaal en zelfs 100% in advies richting WBT)
- Voorspelhorizon viel buiten afweging. Zaken die niet zijn besproken zijn bijvoorbeeld:
  - a. Onzekerheid wordt groter bij grotere voorspelhorizon
  - b. Hoeveel tijd is nodig voor een actie, kun je nog wachten met besluit?
- De situatie werd niet in scenario's opgedeeld: worst case, waarschijnlijke case en best case
- Evenementen: Deze locaties bepaalde sterk de focus van discussie
- Communicatie: Moeite om kansen een plek te geven in de communicatie
  - a. Dit gebeurde enkel ahv uitgezette acties
  - b. Er werd niet nagedacht over communicatie als er geen wateroverlast volgt

### Observaties WBT

- Structuur vergadering”: PBOB, tijd werd goed in de gaten gehouden
  - a. B: OL geeft de verwachting door, inclusief een interpretatie van de verwachtingkans
    - i. 100% kans op fase 3 in schil 2
    - ii. 25% kans op overstroming kade in schil 3 + kade is instabiel
  - b. O: Hoe moet de kans worden ingeschat? De dijkgraaf stelt: “Onzekerheden niet blijven stapelen”
    - i. kans op hoog water -en-
    - ii. kans op dijkinstabiliteit
  - c. B: Men besluit tot een “Voorwaarschuwing” voor Leek, inclusief informatie over de kansverwachting. De informatie over kansen stroomt dus helemaal vanaf de ondersteunende sectie van het WOT naar de burgemeester van Leek.
- Voorspelhorizon viel buiten afweging, net als bij het WOT
- De situatie werd niet in scenario’s opgedeeld: worst case, waarschijnlijke case en best case
- Evenementen: belangrijk, maar er was ook aandacht voor andere risico gebieden / gevolgen
- Communicatie: loopt vooral via de Veiligheidsregio

### ONZEKERHEDEN IN BESLUITVORMING

*Oefendoel 1:* Inzicht krijgen in de invloed van onzekerheidsinformatie op de advisering en besluitvorming binnen een WOT en WBT

- 4 Inschatten situatie op basis van een kansverwachting met aangegeven onzekerheid.
  - a. Het beoordelen van de bruikbaarheid/toepasbaarheid van een kansverwachting
  - b. Het voorbereiden van bestuurlijke beslissingen op basis van deze onzekerheidsinformatie
  - c. Het baseren van een advies of besluit over strategische dilemma’s op kansverwachtingen

Uit de vragenlijst kwam niet eenduidig naar voren of onzekerheden het besluit en advies makkelijker of moeilijker maakte. Dat verschilde per deelnemer en per team, het WOT vond het soms moeilijker, het WBT vooral anders. Uit observatie bleek dat bij het WOT de onzekerheidsinformatie een soort verlamming optrad door de hoeveelheid en moeite om het te duiden, waardoor de overleg structuur niet meer gevolgd werd en bepaalde onderdelen onderbelicht werden. Daarnaast is aangegeven dat er niet per definitie andere besluiten genomen zijn maar wel dat de onzekerheidsinformatie resulteerde in beter onderbouwde, of beter genuanceerde beslissingen en adviezen. In het WBT werd aangegeven dat de voorwaarschuwing die werd afgegeven normaal niet gebruikelijk is.

Onderstaande tabel laat de letterlijke tekst per team zien voor positieve en aandachtspunten met betrekking tot het oefendoel 1

Positief
Ondersteunende sectie watersystemen
Normaal houden we ook rekening met onzekerheden maar nu werden ze beter zichtbaar
Er zijn beslissingen genomen op basis van die onzekerheden, dus er is op gereageerd.
WOT
Onzekerheden geven wel goede nuance bij de advisering waterstanden
Door onzekerheden te noemen geeft het een betere onderbouwing voor besluiten
WBT
Bewustwording dat dode cijfers niet de realiteit weergeven, maar dat alle vragen buitenstanders juist verwijst naar zekerheid 'weet u het zeker etc.'
Besluiten en advies werden eerlijker en opener
Er werd een voorwaarschuwing afgegeven
Onzekerheden maakten besluiten overzichtelijker
Aandachtspunten
<i>Ondersteunende sectie watersystemen</i>
Door onduidelijkheid m.b.t. de onzekerheden ontstond er veel discussie
WOT
Structuur ging verloren aan discussie over betekenis grafieken
Hoe meer informatie er kwam over onzekerheden hoe onduidelijker het werd
Het interpreteren van de gegevens werd meer aan de groep over gelaten
WOT had hoofdzakelijk aandacht voor wateroverlast? binnen de perken te houden. Wel aandacht voor evenementen niet voor communicatie

Tijdens de discussie werd ook nog aangegeven dat naast de onzekerheid de gevolgen ook een grote rol spelen in het nemen van bepaalde besluiten. Hierbij werd werken met scenario's genoemd als manier om hiermee om te gaan (zowel door waterschappers als partners). In de discussie werd vanuit het WBT aangegeven dat risico denken past in deze maatschappij. Dat er een kans wordt meegegeven zorgt voor eerlijker en realistischere informatie.

## COMMUNICATIE

*Oefendoel 2:* Inzicht krijgen hoe onzekerheden mee te nemen in het presenteren van de informatie tussen zowel operationeel team en beleidsteam, als tussen beleidsteam en Veiligheidsregio

- 5 Communicatie
  - a. Het informeren van het BT over de onzekerheid
  - b. Het informeren van de VR over de onzekerheid

Er is in de evaluatieformulieren door het WOT niet altijd geantwoord op de vraag of de onzekerheden goed zijn gecommuniceerd richting de het Beleidsteam. Wellicht dat de vraag niet helder gesteld is maar het viel ook op dat er binnen het WOT meer gesproken is over wat de onzekerheidsinformatie nu betekende dan over hoe het WBT over de onzekerheden geïnformeerd moest worden. De leden van het WBT gaven wel allemaal aan dat ze zich voldoende geïnformeerd voelden. Verder vond iedereen dat de Veiligheidsregio ook moet worden geïnformeerd over de onzekerheden. Dit beeld werd bevestigd door de aanwezige partners van de Veiligheidsregio zelf. Zij gaven in de discussie aan dat ze graag door de waterschappen geïnformeerd willen worden over onzekerheden en dan het liefst in een zo'n vroeg mogelijk stadium i.v.m. het inschatten van de gevolgen. In de discussie achteraf werd als tip meegegeven om eerst het eigen beeld helder te hebben als waterschap voordat je de partners gaat informeren, maar wel alvast te melden aan de partners te informeren dat je bezig bent. Enkelen gaven aan dat een gevolgenmatrix met kansen eraan ook voor de veiligheidregio



mooi zou kunnen zijn. Hierop is opgemerkt dat de werkelijkheid weerbarstig is, waardoor, een meer generieke methode om om te gaan met onzekerheden een betere aanpak is.

Onderstaande tabel laat de letterlijke tekst per team zien voor positieve en aandachtspunten met betrekking tot oefendoel 2.

Positief
Ondersteunende sectie watersystemen
Alle mensen hadden dezelfde informatie
WOT
Beeld voor iedereen gelijk
Aandachtspunten
<i>Ondersteunende sectie watersystemen</i>
Er zit een duidelijk kloof tussen mensen van de techniek/hydrologen en de mensen die ermee verder moeten
Grafieken moeten worden gepresenteerd met % en een heldere tijdschaal
Grafieken op scherm presenteren i.p.v. op papier
WOT
Onzekerheden moeten op de juiste manier worden geïntroduceerd

Omdat de meeste aandacht tijdens de WOT overleggen uitging naar het duiden van de onzekerheidsinformatie werd duidelijk dat het presenteren van en informeren over de onzekerheden een belangrijke rol spelen in het proces. Het niet gelijk kunnen duiden van de informatie leidde tot een vertraagd proces waardoor andere onderdelen niet aan bod kwamen door tijdsnood zoals communicatie en te nemen acties. Met name het informeren van het OT over de onzekerheden middels grafieken vanuit de hydrologische sectie lijkt veel tijd te hebben gekost. Iedereen uit het team maakte zijn eigen interpretatie en daardoor kwam andere informatie niet goed uit de verf tijdens het overleg. In het WBT overleg werden de onzekerheden medegedeeld door de operationeel leider als twee kansen die het OT had vastgesteld had voor twee locaties. Daardoor viel andere onzekerheidsinformatie weg. Wel verliep het WBT overleg meer gestructureerd. Bij het doorgeven van onzekerheden richting het WBT zijn, door een selectie te maken, de nuances weggevallen. Het strakker en minder uitgebreid presenteren van de onzekerheden bij het WBT had een positief effect op de vergaderstructuur. Vanuit het WOT werd tijdens de discussie als aandachtspunt geopperd dat de onzekerheidsanalyse al vooraf aan het WOT moet worden gedaan en dat één persoon verantwoordelijk moet zijn om de resultaten hiervan in het WOT te brengen. Op die manier hoeft niet iedereen dezelfde grafieken te interpreteren. Daarbij werd wel opgemerkt dat deze werkwijze wel door iedereen vooraf afgestemd en getraind moet worden.

Verder is er in de discussie achteraf gesproken over het wel of niet informeren van derde partijen over scenario's met een kleine kans. Aangeven werd dat je wellicht informeel toch betrokken bestuurders kan informeren (via de achterdeur) en voor de veiligheidsregio (via de voordeur) uitgaat van meest waarschijnlijke scenario. Door wel te informeren kunnen alvast voorbereidende acties worden uitgezet die uiteindelijk mogelijk niet uitgevoerd hoeven te worden. Samenwerken en communiceren is hierbij belangrijk. Het is dan ook wenselijk inzicht te hebben in het risico en de onderliggende factoren. Op basis hiervan kan een keuze worden gemaakt. Het is hierbij belangrijk om vooraf dit op te nemen in procedures want de vraag is nog wel wanneer je iets gaat voorleggen, het is niet gewenst om bij iedere uitschieter in het model naar externe partners te gaan.

## PROCEDURES

Oefendoel 3: Het herkennen van het belang, en het bepalen van protocollen/procedures hoe om te gaan met onzekerheden in de besluitvorming.

- 6 Bestrijdingsplan wateroverlast
  - a. Gebruik van het actuele bestrijdingsplan wateroverlast in combinatie met onzekerheidsinformatie
  - b. Aangeven of/hoe er gebruik gemaakt kan worden van procedures/protocollen in het bestrijdingsplan.

Op de vraag of de huidige alarmpeilen makkelijk toe te passen waren met de onzekerheidsinformatie werd door enkele deelnemers aangegeven dat zij dit makkelijk konden toepassen, maar ook door enkele deelnemers dat zij ze moeilijk konden toepassen. Echter op de vraag of onzekerheden een plek moeten krijgen in de procedures protocollen heeft iedereen positief geantwoord. Onderstaande tabel laat de letterlijke tekst per team zien met positieve en aandachtspunten met betrekking tot oefendoel 3.

Positief
<p>WOT</p> <p>Belang van vastleggen in protocollen is ook belangrijk in relatie tot vermeden schade</p> <p>Ook belangrijk bij bewustwording van deze onzekerheden</p>
Aandachtspunten
<p><i>Ondersteunende sectie watersystemen</i></p> <p>Hoe bepalen de mensen bij welk % overschrijding er actie moet worden genomen</p> <p>WOT</p> <p>Onzekerheden moeten op de juiste manier worden geïntroduceerd</p> <p>Buiten de oefening om de grafieken leren lezen. Daar ging nu teveel aandacht naar toe</p> <p>Er mee werken heeft tijd nodig</p> <p>Aangeven wat we een optimaal percentage vinden bij verschillende acties</p> <p><i>WBT</i></p> <p>Eigen mensen niet vergeten, wat als de polder volloopt</p> <p>Verantwoordelijkheden op bestuurlijk niveau leggen</p>

In de discussie werd aangegeven dat het verpakken van onzekerheden in de procedures belangrijk zijn. Deze procedures moeten wel geoefend worden zodat de teams vertrouwd zijn met het werken ermee en inzicht hebben wie wat doet. Alle deelnemers hebben in het evaluatieformulier aangegeven dat ze mee willen denken over hoe de onzekerheden te borgen in protocollen, een enkeling geeft aan dat dit niet relevant is i.v.m functie binnen de organisatie.

## PARTNERS

Aan de aanwezige partners van de veiligheidsregio is gevraagd welke informatie van hun voor belang is. Belangrijkste aspect dat genoemd is zijn de effecten of consequenties van de waterstanden en dan met name voor:

- Aantasting infrastructuur voor het opstellen van een mobiliteitplan voor eventuele
- evacuatie
- Risicoanalyse opstellen voor het gebied voor openbare orde en veiligheid
- Alvast in beeld brengen risicovolle objecten.
- Voorlichtingsplan

Een ander belangrijk aandachtspunt is dat het waterschap multidisciplinair moet denken, dat ze niet alleen kijken naar eigen opschaling maar ook rekening houden met partners. Het waterschap moet ook nadenken over hoe de partners te informeren en hoe ze welke informatie zelf kunnen opvragen.

De partners hebben aangegeven dat onzekerheden hen kunnen helpen te anticiperen op de ontwikkelingen en alvast voorbereidende maatregelen kunnen treffen door plannen te maken over voorlichting, mobiliteit en veiligheid. Bijvoorbeeld door een voorbereidend grip te gebruiken om scenario's te presenteren.

#### **ORGANISATIE OEFENING**

Iedereen heeft in het evaluatieformulier aangegeven dat de oefenopzet en de organisatie als goed werd ervaren. Het scenario bevatte genoeg aanknopingspunten voor de oefendoelen. Het scenario werd door alle deelnemers als realistisch ervaren.

Aangegeven verbeterpunten zijn:

- De start kan wat strakker, nu werd het scenario voor de hele groep geïntroduceerd en kon beter alleen voor het WOT
- Informatie scenario kon minder door de oefenleider worden gepresenteerd en meer door de deelnemers zelf ingebracht worden. Dit lag aan de oefenopzet.
- Geluid voor de meekijkers was slecht. Hierdoor kon de vergaderingen niet goed gevolgd worden. De microfoon die Noorderzijlvest had besteld was bij de oefening helaas nog niet gearriveerd.
- Een enkeling gaf aan dat er wel wat veel meekijkers waren
- Er was behoefte om meer samen te leren over de rol die communicatie kan hebben bij dit scenario.

## APPENDIX 3

## OPMERKINGEN BRAINSTORMSESSIE

## Positief

Mensen voldoende opgeleid?

Hoe interpreteer je de informatie

Train met name de ondersteuning/specialisten op interpretatie en betekenis zodat calamiteitenproces niet verstoord wordt.

Wat is de behoefte: handboek omgaan met onzekerheden of delen ervaringen en zo leren van elkaar?

Ondersteunende sectie trainen

## Opleiding

Mensen voldoende opgeleid?

Hoe interpreteer je de informatie

Train met name de ondersteuning/specialisten op interpretatie en betekenis zodat calamiteitenproces niet verstoord wordt.

Wat is de behoefte: handboek omgaan met onzekerheden of delen ervaringen en zo leren van elkaar?

Ondersteunende sectie trainen

## Vorm

Hoe communiceer je

Abstraheren is moeilijk

Onduidelijk had WBT beter overzicht omdat ze beter getraind zijn of omdat onzekerheden anders gecommuniceerd waren?

Voorbereiden ondersteunende sectie en beperken onzekerheidsinformatie

Beelden kunne verlamdend werken, denk aan welke informatie gepresenteerd wordt

Niet teveel onzekerheden

Informatie centraal delen i.p.v. op papier

Beter drie getallen dan een grafiek

Wat is ideale communicatievorm (tabellen worst case?)

Vertalen onzekere verwachtingen naar scenario's

Advies naar team is onzekerheid + interpretatie

Vertaling van inhoud naar boodschap moet eenduidig zijn

## Onzekerheden

Onzekerheid in de onzekerheid nog niet aan bod gekomen

Inherente onzekerheden expliciet gemaakt -> we weten het niet zeker als boodschap

Vraag hoe goed zijn de kansverwachtingen niet gesteld

Hoe zeker zijn de onzekerheden

Doorvertalen naar strategische studies werken onzekerheden dan op dezelfde manier?

## Procedure

Verbetering handboek hoogwater

Acties omzetten in procedures -> handboek maken

Hoe definieer je een worstcase, 5% kans of alarmfase 3

Vooraf beslis criterium, procedures

Hoe definieer je alarmfasen o.b.v. kansen i.p.v. peilen?

Besliscriteria kun je niet vooraf vaststellen Proces afstemmen op informatie die er in gaat --> nu anders dan voorheen

Wanneer draagt waterschap regie over naar de veiligheidsregio

Hoe beslis je o.b.v. een kans

Meer focus op 'wat is er echt aan de hand' dan op welk niveau is overschreden

Maak meer gebruik van impliciete kennis

Wat is de rol sectie water in WOT

Omzetten van alarmfase o.b.v. peilen naar kansen? -> procedures aanpassen?

Inzicht in faalfactoren+ combinatie onzekerheden is nodig

Ketenbenadering data -> model/BOS-> beslissing

## Tijd

Tijdelijkheid van verwachting meenemen

Hoe geef je lead time een plek

Filter failure?

---

**Gevolgen**

---

Hoe maak je gevolgen zichtbaar? Gezamenlijke aanpak  
Besluitvorming moet worden gebaseerd op risico gevolgen  
Er moet een eenduidige aanpak voor integrale risicobeoordeling komen  
Perspectief=[onzekerheid+gevolgen/schade+lead time= objectieve drempelniveau voor actie  
Kans en gevolg in een adem noemen-> lastig  
Risicobenadering uitwerken+vormgeven  
Uitgangspunt effect/gevolgen--> kansverwachtingen

---

**Oefening**

---

Oefening herhalen bij andere WS-en?  
Theorie vs praktijk, begrijpen we de denkwereld van waterschappen?  
Volgende oefening drie scenario;s hoog midden en laag?  
Leren met Rijkswaterstaat?  
Oefening doen met gemeenten brandweer en andere partijen?  
Oefenen rol/taakverdeling, opschalen verschillende disciplines  
Verantwoordelijkheden nu goed gescheiden?  
Hoe maak je dit common practice?  
Oefeningen van waterschappen evalueren--> meelopen  
Koppeling maken met kaartmateriaal.

---

APPENDIX 5

# FACTSHEET QUANTILE REGRESSION



Hydrologische kansverwachtingen zijn kansverdelingen van toekomstige waterstanden of afvoeren. Deze kansverwachtingen worden steeds opnieuw gemaakt op basis van de laatste runs van het hydrologische en/of hydrodynamische voorspellingsmodel. Kansverwachtingen kunnen op een aantal manieren gemaakt worden. Deze “spiekbrieven” legt uit hoe kansverwachtingen worden gemaakt als daarvoor een “post-processor” gebruikt wordt.

## Kansverwachtingen - spiekbrieven

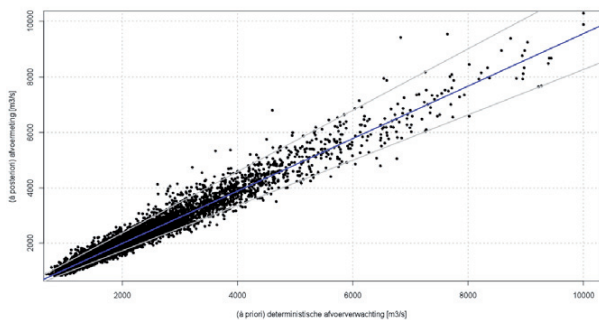
Jan Verkade en Arnejan van Loenen

### Principe van het maken van kansverwachtingen

De postprocessor maakt een kansverdeling van toekomstige waterstanden. Input daarvoor is de voorspelde waterstand uit het hydrologische en/of hydrodynamische model. De kansverdeling is samengesteld uit een aantal overschrijdingswaarden. Dat zijn bijvoorbeeld de waterstanden waarvan berekend is dat er 5%, 50% en 95% kans op overschrijding is.

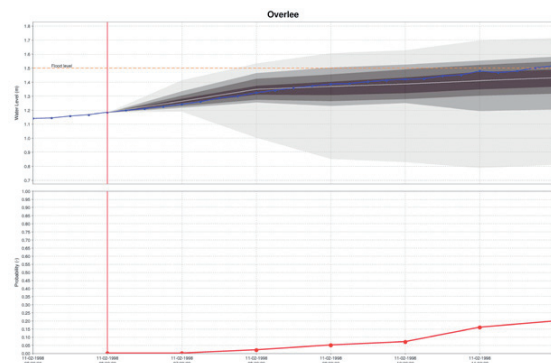
De postprocessor put hiervoor uit eerder opgestelde verbanden tussen in het verleden gedane voorstellingen en de daadwerkelijk opgetreden waterstanden. Deze verbanden volgen uit de vergelijking tussen een deterministische voorspelling met een ‘wolk van gemeten waterstanden’ op de betreffende locatie gedurende een bepaalde periode.

Door van tijd tot tijd (zeg jaarlijks) een voorspelling te vergelijken met de metingen, en opnieuw het functievoorschrift van de omhullende lijnen te bepalen (die de relatie aangeven tot een waterstand en haar 5% en 95% overschrijdingswaarde) wordt de postprocessor als het ware opnieuw ‘afgesteld’. Het gaat hier eigenlijk om het ‘periodiek onderhoud’ van de postprocessor.



### Toepassing hydrologie – kansverwachting

Onder de aanname dat de berekende omhullende lijnen die op basis van het verleden zijn bepaald, niet veranderen, worden de relaties gebruikt om de kansverdeling rond real time gegenereerde voorspellingen te bepalen. In essentie wordt dan de in het verleden waargenomen onzekerheid gebruikt bij het bepalen van de onzekerheid van een nieuw voorspelde waterstand. Onderstaande figuur is daarvan een voorbeeld, met in de bovenste helft een kansverdeling van toekomstige waterstanden.



Uit de kansverdeling kan bepaald worden wat de kans is dat bepaalde waterstand overschreden wordt. In de onderste figuur is de kans weergegeven dat de waterstand hoger wordt dan de overstroomingsdrempel; hier is dat 1.5m.

### Verantwoording

Dit spiekbrieven is tot stand gekomen in het door Flood Control 2015 en Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer (STOWA) gefinancierde project “Operationaal Besluiten Onder Onzekerheid”. De rapportage van dit project legt in meer detail uit hoe kansverwachtingen gemaakt worden.

Meer informatie:

Jan Verkade | +31(0)88 335 83 48 | Jan.Verkade@deltares.nl

APPENDIX 6

# COMMUNICATIE



# Kansverwachtingen in het regionaal waterbeheer

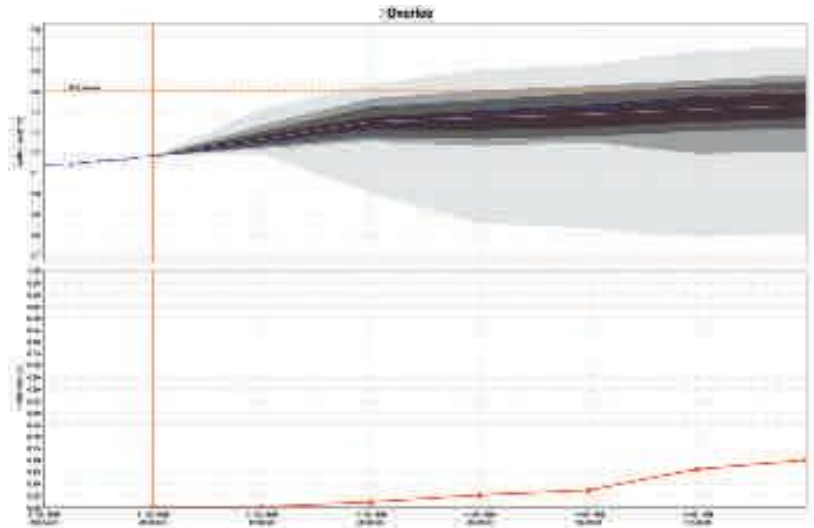
**Grand Forks, North Dakota, april 1997. Onverwacht en tot ontsteltenis van inwoners en stadsbestuur overstroomden de dijken die de stad moeten beschermen tegen overstromingen vanuit de Red River. Uiteindelijk staat zo'n 80 procent van de stad onder water. De gemeentelijke crisismanagers zijn steeds 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 waarschuwingspeil 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 onderschrijding 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 800 miljoen 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) Glasheim 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).



## NIEUWE PRESENTATIE HOOGWATERINFORMATIE MOET KWALITEIT HOOGWATERBESLUITEN VERBETEREN

Dijkbewaking instellen? Evacueren? Wel of (nog) geen noodoverloopgebieden onder water zetten? Bij het nemen van operationele hoogwaterbesluiten is de kwaliteit van de onderliggende informatie van essentieel belang. Hydrologen, bestuurders en managers van waterschappen zoeken samen met STOWA naar de optimale informatievoorziening bij kritische situaties. Hoe? Vooral door informatie anders te presenteren.



In het verleden hebben zich in Nederland rampen en bijna-rampen voorgedaan bij extreem hoog water. Soms was er paniek en viel het achteraf erg mee. 'Als waterschap hebben we hierbij onze lessen geleerd', zegt Jan Gooijer, hydroloog bij Waterschap Noorderzijlvest. 'Op een gegeven moment was heel het waterschap 's nachts gemobiliseerd. De verwachte regen bereikte echter het stroomgebied niet. De wolken regenden leeg in het IJsselmeer. De bui van kritiek kwam daarna wel aan. Dan is het raadzaam dat je de mensen goed kunt uitleggen op basis van welke informatie is besloten tot het instellen van verhoogde paraatheid.'

### SPANNEND

Hydrologen bezitten de kennis, bestuurders moeten in kritische situaties uiteindelijk de belangrijke besluiten nemen. Maar wat voor informatie willen die hebben wanneer het spannend wordt? En welke informatie kunnen hydrologen en managers dan hun bestuurders leveren, gegeven alle onzekerheden die zij zo goed kennen, maar voor bestuurders vaak minder inzichtelijk zijn? Welke vorm van informatie leidt tot goed onderbouwde besluiten? In het STOWA-project 'Omgaan met onzekerheden in operationele besluitvorming bij hoogwater' is het afgelopen half jaar gewerkt aan een nieuwe manier van presenteren van verwachtingen die de kwaliteit van besluiten moet verbeteren.

### WAARSCHIJNLIJKHEDEN

Deze nieuwe manier van presenteren houdt in dat een beslissingsondersteunend systeem niet meer een exacte voorspelling geeft in de trant van 'volgens de verwachting wordt om 3.00 uur vannacht het eerste, tweede of derde alarmniveau overschreden'. In plaats daarvan levert het systeem een figuur, een plaatje waaruit af te lezen is met welke waarschijnlijkheden bepaalde situaties zich kunnen gaan voordoen. Hierop baseren crisismanagers en bestuurders uiteindelijk hun besluiten. Het plaatje toont een bepaalde bandbreedte van mogelijke ontwikkelingen van het peil, met daaraan gekoppeld de kans op deze ontwikkeling. Anders gezegd: het plaatje geeft een tendens aan en brengt tegelijk de daarmee samenhangende onzekerheden in verwachte waterstanden in beeld. Bij het waterschap Noorderzijlvest gaan bestuurders, managers en hydrologen binnenkort in een pilot 'droog' oefenen met dit nieuwe type informatie, door een hoogwatersituatie uit het verleden na te bootsen. De hydrologen voeden hun bestuurders en managers met het nieuwe type informatie. Achteraf wordt in een evaluatie bekeken tot welke besluiten dit heeft geleid.

### REALISTISCHER

Een voordeel van de nieuwe manier van presenteren is om te beginnen dat het geschetste beeld realistischer is, aldus hydroloog Jan Gooijer van Waterschap Noorderzijlvest. De



weersomstandigheden op een locatie zijn volgens hem nooit exact te voorspellen, en in de reactie van een watersysteem dat onder druk staat, zitten altijd onzekerheden. Dan kan je deze onzekerheden maar beter in beeld hebben en betrekken in de beslissing. Tweede voordeel is dat de verantwoordelijkheid voor een beslissing komt te liggen waar deze hoort. Het nieuwe plaatje laat bijvoorbeeld zien dat er een kans van 20 procent bestaat op een hoger peil of zelfs een calamiteit. Managers en bestuurders moeten deze kans afwegen tegen de impact en de kosten van maatregelen en de gevolgen voor de maatschappij als het minst gunstige scenario bewaarheid wordt. Het derde voordeel betreft de verantwoording achteraf. Die is veel transparanter.

#### ORGANISATORISCHE IMPLICATIES

Dijkgraaf Henk van 't Land van Waterschap Noorderzijlvest waar de pilot gaat plaatsvinden, verwacht veel van het nieuwe type informatievoorziening in de praktijk: 'Wij denken dat wij ons door een geavanceerder beslissingsondersteunend systeem beter op hoogwatersituaties kunnen instellen. Vroeger gold gechargeerd: we wachten tot het zover is, en dan rukken we ineens uit met alles wat we hebben. Met dit nieuwe systeem kunnen we sterker dan we nu al doen, gefaseerd reageren op dreigingen. Dat past in mijn optiek van modern management. Je wordt beter in staat gesteld om de organisatie gradueel op te schalen, en op het goede moment ook weer af te bouwen als de verwachtingen aangeven dat het mee gaat vallen.'

'Achteraf verantwoorden hoort bij het totale concept. Tegenwoordig zijn meningen niet meer in de hand te houden, via sociale media is razendsnel een oordeel geveld. Je moet als overheid telkens een goed verhaal hebben. Daarom gaan we nu ook droog oefenen. Leden van ons bestuur worden bij de pilot betrokken. Zo werken we aan *finetuning*. Op basis daarvan stellen we onze draaiboeken bij.'

Begin 2012 zal er een symposium plaatsvinden over dit onderwerp. Dan zullen de ervaringen van Noorderzijlvest met het nieuwe informatiesysteem worden gepresenteerd. Wilt u meer weten over het project, dan kunt u contact opnemen met Jan Gooijer, Waterschap Noorderzijlvest, tel. 050 304 89 11.



## STOWA EN RWS WATERDIENST NEMEN INITIATIEF VOOR DATAPROTOCOL WATERMODELINSTRUMENTEN

STOWA en RWS Waterdienst nemen het initiatief om samen met het Informatiehuis Water een zogenaamd dataprotocol te ontwikkelen voor watermodelinstrumenten. Op die manier worden data uniformer en gaat er veel minder tijd en energie zitten in het opvragen, uitwisselen, controleren en eventueel converteren van data. Dit levert naar verwachting een flinke doelmatigheidswinst op. De aanleiding vormt de door STOWA uitgevoerde regionale toetsing van het Nationaal Hydrologisch Modelinstrumentarium NHI.

Om inzicht te krijgen in toekomstige wateropgaven ontwikkelen het Rijk en de waterschappen momenteel allerlei modelinstrumenten, waaronder het NHI. STOWA heeft de uitkomsten van het NHI getoetst aan regionale hydrologische waarnemingen. Hieruit kwam naar voren dat de modeluitkomsten en de regionale data soms flink uit elkaar lopen. De resultaten van de toetsing hebben al tot de nodige verbeteringen geleid.

Eén van de aanbevelingen is om regionale data te gaan implementeren in de volgende versie van het NHI, versie 3.0 (oktober 2012). Dit gaat de komende periode gebeuren. De STOWA Adviesgroep Watersysteemanalyse, met vertegenwoordigers van de waterschappen en Rijkswaterstaat, heeft in dit verband tevens aanbevolen een dataprotocol te ontwikkelen, om inputdata voor watermodelinstrumenten te uniformeren. Niet alleen voor het NHI, maar ook voor door waterschappen zelf gebruikte modellen. STOWA en Rijkswaterstaat Waterdienst hebben daar samen met het Informatiehuis Water nu dus het initiatief voor genomen. Ze hebben hier een voorstel voor neergelegd bij het bestuurlijk overleg dat de Unie en Rijkswaterstaat voeren in het kader van de operatie 'Storm'. De deelnemers aan dit overleg hebben volmondig met dit voorstel ingestemd.



