



Janneke de Graaf, HydroLogic  
 Hilde Ketelaar, Waterschap Rivierenland  
 Ton Ruigrok, Waterschap Rivierenland  
 Maarten Spijker, HydroLogic

# Ontwikkeling standaardaanpak watersysteemtoetsing Waterschap Rivierenland

**Voor een succesvolle watersysteemtoetsing is een gedegen aanpak noodzakelijk. Zo zijn de keuze voor het modelinstrumentarium en de te hanteren rekenmethodiek allesbepalend voor de wateropgave. De waterbeheerder wordt geconfronteerd met complexe vragen: moet gebruik worden gemaakt van de tijdreeks- of toch de stochastenmethode en is mijn model wel geschikt voor hoogwatersimulaties en de gewenste rekenmethodiek of zijn aanpassingen nodig? Ter voorbereiding op de aankomende toetsing van watersystemen voor regionale wateroverlast ontwikkelde Waterschap Rivierenland in nauwe samenwerking met HydroLogic een standaardaanpak voor de watersysteemtoetsing. Om te komen tot een voor Rivierenland passende werkwijze zijn in een pilotstudie modellen, rekenmethodieken en nabewerkingen beproefd voor het deelgebied Lek en Linge. Met de in de pilot geformuleerde standaardwerkwijze toetst het waterschap inmiddels de andere deelgebieden op uniforme wijze. Dit artikel beschrijft de belangrijkste inhoudelijke keuzen en afwegingen die aan de standaardwerkwijze ten grondslag lagen.**

**W**aterschap Rivierenland voerde samen met HydroLogic in 2011 een pilotonderzoek uit naar een standaardaanpak van watersysteemtoetsingen voor het bepalen van de wateropgave. Deze nieuwe ronde watersysteemtoetsingen is nodig voor het herijken van de opgave voor wateroverlast en het herijken van de effecten van het geplande maatregelpakket.

In dit artikel is de technische inhoudelijke uitwerking van de standaardaanpak beschreven. De eerste ervaringen met de watersysteemtoetsing in Rivierenland zijn onlangs gepresenteerd<sup>1),2)</sup>.

## Doel

Het belangrijkste doel van de pilot is de inhoudelijke uitwerking van de standaardaanpak voor de watersysteemtoetsing. Voor het bepalen van een betrouwbare wateropgave is een gedegen aanpak van de hertoetsing noodzakelijk. Binnen de aanpak zijn drie aspecten bepalend gebleken voor de uiteindelijke wateropgave: het modelinstrumentarium, de rekenmethode en de inundatieberekening.

Tevens had de pilot als doel een vergelijking uit te voeren met de wateropgave die in 2005 is bepaald en te bepalen in hoeverre reeds uitgevoerde maatregelen bijdragen aan de afname van de opgave. In het H<sub>2</sub>O-artikel 'Waterschappen zoeken standaardaanpak voor toetsing van het watersysteem' uit nummer 16 van 17 augustus jl. is nader ingegaan op de verschillen tussen de hertoetsing en de toetsing uit 2005.

Allereerst is de keuze voor het model gemaakt, waarna met het gekozen modelinstrumentarium de rekenmethodieken zijn beproefd en tot slot de gewenste methode voor het uitvoeren van de inundatieberekening is bepaald.

## Keuze modelinstrumentarium

Het waterschap had bij de start van de pilot reeds de beschikking over een gecombineerd Sobek Channel Flow/Moria (grondwater) model, waarbij de watergangen in Sobek zijn gemodelleerd en de neerslagafvoer door Moria wordt gegenereerd. Bij het begin van het project was het echter de vraag of het bestaande model op dit moment geschikt is voor de hertoetsing of dat een alternatief

neerslagafvoermodel noodzakelijk is voor een adequate modellering van het neerslagafvoerproces onder extreme omstandigheden. Om de keuze voor een geschikt model te kunnen maken, zijn de resultaten van het bestaande Sobek/Moria-model vergeleken met de resultaten van een nieuw ontwikkeld Sobek CF/RR-model. Allereerst zijn de resultaten van beide modellen vergeleken met meetgegevens en luchtfoto's van de hoogwatersituatie van 2007. Tijdens dit hoogwater is op een aantal locaties water vanuit de watergangen het maaiveld op gestroomd. Het Sobek CF/RR-model bleek de onderzochte situatie goed te simuleren; de afvoer- en waterstandspieken waren vergelijkbaar met de metingen en de vervaardigde inundatiekaarten kwamen overeen met de luchtfoto's. De kwaliteit van de modelresultaten van het Sobek CF/Moria-model was onvoldoende: de afvoer- en waterstandspieken werden niet gesimuleerd. Daarbij was het de verwachting dat het dusdanig actualiseren van Moria tot een adequaat hoogwatermodel veel tijd (en risico) in beslag zou nemen. Tevens zijn met beide modellen de normeringsberekeningen uit 2005 uitgevoerd

en vergeleken met de resultaten uit 2005, indertijd verkregen met DufLOW/Ram. Ook uit deze vergelijking blijkt dat het Sobek CF/Moria-model de extreme afvoer- en waterstandspieken onderschat. Afbeelding 1 geeft de resultaten van deze vergelijking weer. In de onderste grafiek zijn de resultaten gegeven uit 2005 die met het DufLOW-model zijn verkregen. De resultaten van het Sobek CF/RR-model bleken goed aan te sluiten bij de resultaten die eerder met het gekalibreerde DufLOW-model zijn verkregen. De verschillen konden worden verklaard door aanpassingen in het systeem, zoals verandering in de peilgebiedsbegrenzing en afvoercapaciteit.

De projectgroep heeft op basis van de bevindingen besloten voor de watersysteemtoetsing gebruik te maken van het Sobek CF/RR-model.

### Rekenmethode

De rekenmethodiek is bepalend voor de wijze waarop de waterstandstatistiek wordt afgeleid en vormt daarmee de basis voor de wateropgave. Binnen de pilot zijn drie rekenmethodieken beproefd voor het uitvoeren van een watersysteemtoetsing: de ontwerpbuimethode (vergelijkbaar met de toetsing die in 2005 is uitgevoerd), tijdreeks- en stochastenmethode.

Met de ontwerpbuimethode wordt het watersysteem per herhalingstijd doorgerekend met één specifieke ontwerpbeurt, die maatgevend wordt geacht voor extreme situaties. Voor de overige aspecten die kunnen bijdragen aan wateroverlast (initiële grondwaterstand, benedenstroomse randvoorwaarden) worden aannamen gedaan. De herhalingstijd van de neerslag (ontwerpbeurt) wordt gelijk verondersteld aan de herhalingstijd van de berekende waterstand. Inmiddels wordt de ontwerpbeurt niet meer als een adequate methode beschouwd voor het uitvoeren van de watersysteemtoetsing<sup>1)</sup>, omdat deze methode onvoldoende recht doet aan het meenemen van faalmechanismen die tot wateroverlast kunnen leiden.

Bij de tijdreeksmethode wordt het watersysteem doorgerekend met een voldoende lange (hydrometeorologische) tijdreeks waarin zich extreme en minder extreme neerslaggebeurtenissen voordoen. 'Achteraf' wordt statistiek toegepast voor het bepalen van de T10-T100 waterstanden, deels op basis van extrapolatie. Wateroverlastbepalende factoren, zoals de grondwaterstand en de afwatering naar het buitenwater, kunnen of modelmatig worden bepaald of tijdsafhankelijk met het model worden gekoppeld. In tegenstelling tot de ontwerpbeurt hoeft hierin geen generieke aanname te worden gedaan.

Bij de stochastenmethode wordt de statistiek niet toegepast op de uitkomsten van het model maar op de invoer. Zo wordt het watersysteem doorgerekend met vele combinaties van variabelen (stochasten) die tot hoge waterstanden kunnen leiden. Het verschil met de ontwerpbuimethode is dat niet vooraf wordt bepaald welke unieke combinatie van variabelen leidt tot een T10-waterstand, maar dat dit door het model wordt uitgerekend op basis van de gegeven stochastische input. Zodoende kunnen er ook verschillende combinaties van stochasten zijn die leiden tot een T10-waterstand.

De belangrijkste verschillen tussen de tijdreeks- en stochastenmethode bij een adequate toepassing in het Nederlandse waterbeheer staan in de tabel hiernaast.

De tijdreeks blijkt tot lagere waterstanden te leiden dan de stochasten en de ontwerpbeurt. Dit werd veroorzaakt doordat het gebruikte model is vervaardigd voor afvoersituaties en niet geschikt is gebleken voor jaarrondberekeningen. Het model droogde in de zomerperiodes uit en onderschatte daardoor de initiële situaties voor bepalende neerslaggebeurtenissen. In afbeelding 2 is voor één bepaald punt het resultaat weergegeven; andere punten laten een vergelijkbaar beeld te zien. In de figuur is de tamelijke willekeur van de tijdreeksfit zichtbaar. De losse punten zijn de vier meest extreme punten in de

tijdreeks en op basis hiervan kunnen verschillende lijnen worden getrokken.

Zowel de tijdreeks- als de stochastenmethode leiden in een T10-situatie tot een hogere waterstand. In een gebied met veel grasland, waar de T10-opgave een groot deel van de wateropgave vormt, kan een keuze voor een verfijnde rekenmethodiek (tijdreeks- of stochastenmethode) grote gevolgen hebben voor de te bepalen wateropgave. De stijging (richtingscoëfficiënt van de lijn) van de T10- naar de T100-situatie is bij de stochasten- en tijdreeksmethode vergelijkbaar, terwijl de ontwerpbuimethode een afwijkend patroon laat zien (veel sterkere stijging). Deze grote stijging wordt veroorzaakt doordat bij de ontwerpbeurt alleen het neerslagvolume differentiërend is, terwijl bij de andere methodes ook rekening wordt gehouden met verschillende factoren (initiële grondwaterstand, buivorm etc.), wat nivellerend werkt. De waterstandstijging tussen T10 en T100 van de tijdreeks- en stochastenmethode is dan ook realistischer.

Op basis van de resultaten, de voor- en nadelen van de methoden, de beschikbare gegevens en modellen is door de projectgroep de keuze gemaakt voor het gebruik van de stochastenmethode binnen de watersysteemtoetsing. Deze methode is reeds met succes in eerdere projecten van het waterschap toegepast voor toetsingen van dijken. Een bijkomend voordeel van deze methodiek is daarmee de vergelijkbaarheid in aanpak van toetsing van dijken en watersystemen.

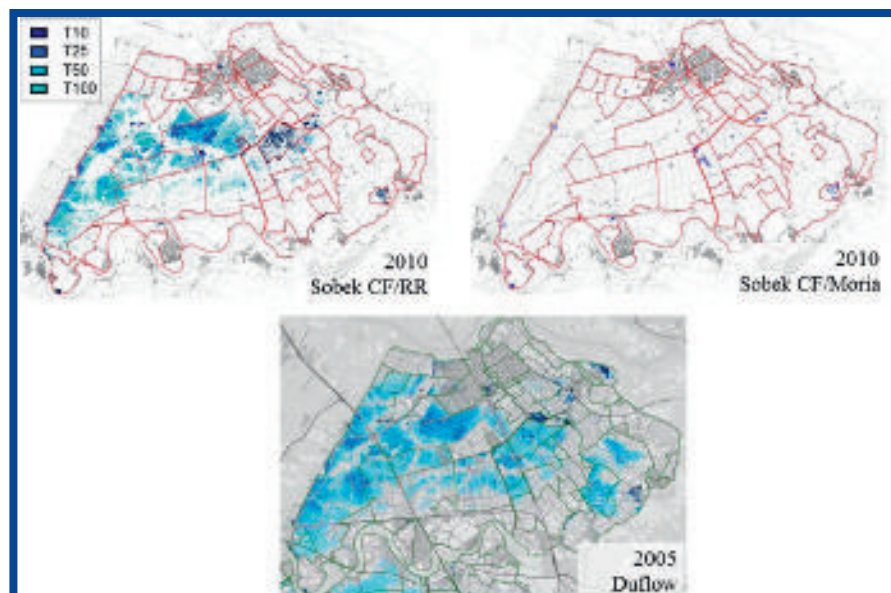
### Inundatie

De te vervaardigen knelpuntenkaart vormt de basis voor het bepalen van de wateropgave. Een knelpuntenkaart wordt verkregen door inundatiekaarten te toetsen aan een normeringskaart en locaties te identificeren waar te frequent inundaties optreden. De inundatiekaarten die ten grondslag liggen aan de knelpuntenkaarten, dienen daarom op hydrologisch consistente wijze te worden berekend. De pilot heeft uitgewezen dat hierbij drie aspecten van belang zijn: het berekenen van een betrouwbare hoogwaterstand bij inundatie van het maaiveld, de schematisatie van het bergend vermogen van het oppervlaktewater en de toepassing van een GIS-analyse waarbij de opgave op betrouwbare wijze wordt bepaald, rekening houdend met het oppervlaktewater, ingesloten laagtes en waterkeringen.

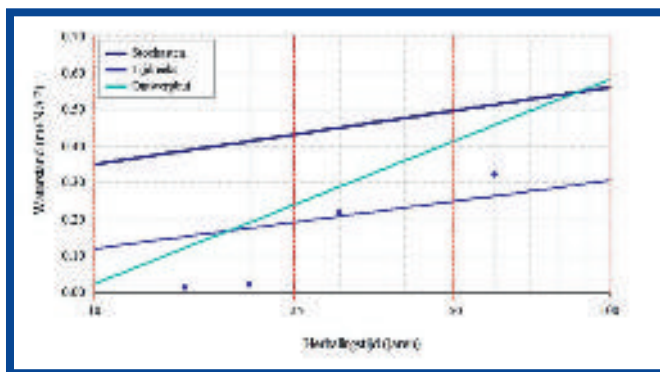
Om extreme waterstanden voldoende nauwkeurig te kunnen berekenen, zijn in de dwarsprofielen op maaiveldniveau overstromingsvlaktes gemodelleerd om te voorkomen dat het water onrealistisch hoog boven het maaiveld stijgt (en een te grote wateropgave wordt berekend). Het knippunt van deze profielen (de overgang van het profiel naar het maaiveld) is bepaald op basis van het Actuele Hoogtekaart Nederland.

Afbeelding 3 toont twee inundatiekaarten die aangeven in welke mate een overschatting van de hoogwaterstand doorwerkt op het overstromingsbeeld en

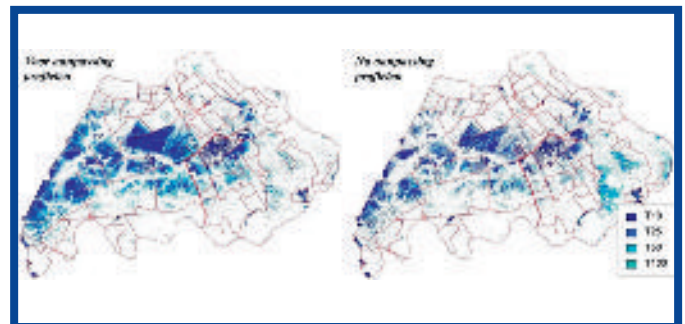
**Afb. 1: Resultaten van de ontwerpbuimethode. In de bovenste figuren zijn de resultaten van het Sobek CF/RR-model gegeven (links) en van het Sobek CF/Moria-model (rechts). In de onderste figuur zijn de resultaten van toetsing uit 2005 gegeven, verkregen met het DufLOW-model.**



| technisch inhoudelijke aspecten   | stochasten   | tijdreeks  |
|---|--|--|
| omgang met niet-lineariteiten (inundatie, maalstop, afwatering buitenwater) | goed   | goed bij voldoende lange tijdreeks matig bij beperkte tijdreeks wanneer knikpunten niet worden geïdentificeerd |
| meenemen van andere faalmechanismen dan neerslagafvoer                      | goed   | redelijk, afhankelijk of mechanismen zich in rekenperiode hebben voorgedaan                                    |
| onderlinge afhankelijkheden tussen wateroverlastbepalende aspecten          | redelijk, afhankelijkheden kunnen worden meegenomen, mits voldoende gegevens   | goed   |
| extrapolatie statistiek   | redelijk, vooraf   | matig, achteraf: bij niet-lineariteiten treden grote afwijkingen op  |
| begin-grondwaterstand als wateroverlastbepalende factor                     | goed, wel opletten bij geaggregeerde modellen  | goed, mits modellen jaarrond rekenen   |
| communiceerbaarheid   | redelijk   | goed   |
| consistentie met aanverwante dossiers                                       | goed, idem als waterkering   | redelijk   |
| bewerkelijkheid   | redelijk, methode vergt lange rekentijd wanneer een groot aantal combinaties moet worden doorgerekend en kansverdeling stochasten moet goed worden doordacht (rekening houdend met afhankelijkheden) | goed   |



Afb. 2: Resultaten van rekenmethodieken voor een representatief punt in het onderzoeksgebied Lek en Linge.



Afb. 3: De linkerfiguur is een inundatiekaart die is gemaakt met een model dat de inundaties en daarmee de knelpunten overschat. De rechterfiguur is een inundatiekaart die is gemaakt met een verbeterd model en realistischere inundaties toont.

daarmee de wateropgave. De kaart links is gemaakt met een model dat de hoogwaterstanden onvoldoende nauwkeurig berekent; de inundaties en knelpunten worden overschat. De kaart rechts is een inundatiekaart waarbij verbeterde profielen in het model zijn gebracht om realistischere inundaties te berekenen. De omvang van de inundaties is duidelijk afgenomen.

Het bergend vermogen is door middel van bergingswatergangen in het model geschematiseerd, waarbij rekening is gehouden met het bergend vermogen van de kleinere (b en c) watergangen die tot het hoofdwatersysteem behoren. Dit bergend vermogen is bepaald op basis van kleine afwateringseenheden met gebiedsgroottes die variëren van 25 tot 50 hectare.

De inundatieanalyse kan op basis van verschillende GIS-methodes worden bepaald, waarbij de ene methode bewerkelijker zal zijn dan de andere. Een belangrijk aandachtspunt bij de vervaardiging van een betrouwbare inundatiekaart is consistentie tussen het model en de GIS-informatie. De hoeveelheid inonderend water in het model dient qua grootte vergelijkbaar te zijn met het berekende volume water in GIS, om te voorkomen dat een onrealistisch hoge wateropgave wordt

berekend. Verder dienen ingesloten laagtes waar geen inundaties mogelijk zijn, niet te worden meegenomen in het bepalen van de wateropgave. Inundatie van het oppervlaktewater dient ook te worden uitgesloten; zij telt niet mee in de wateropgave.

### Conclusies

De standaardaanpak voor de hertoetsing van het watersysteem van Waterschap Rivierenland is een uitwerking van de landelijke aanpak, waarbij gefundeerde keuzen zijn gemaakt op drie essentiële punten: het modelinstrumentarium, de rekenmethodiek en de inundatieberekening. Voor het waterschap is in het kader van een pilotonderzoek maatwerk geleverd, waarbij belangrijke keuzen op de organisatie en het watersysteem zijn toegespitst.

De stochastenmethodiek is verkozen boven de tijdreeksmethode, omdat deze methode beter omgaat met niet-lineariteiten in het systeem en reeds met succes in eerdere studies van het waterschap is toegepast. Tevens bleek het model ongeschikt voor de tijdreeksmethode.

Tot slot vormt de berekening van realistische hoogwaterstanden voor een gedegen inundatieanalyse de basis voor

een betrouwbare wateropgave. Belangrijke aspecten hierbij zijn het op de juiste manier meenemen van de berging op het maaiveld, de oppervlaktewaterberging en de toepassing van een nauwkeurige GIS-analyse.

Hoewel bij de uitwerking van de landelijke aanpak maatwerk benodigd is, is reeds bij de toetsing van andere deelgebieden gebleken dat veel van de inzichten die tijdens de pilot zijn opgedaan ook elders van toepassing zijn; De standaardaanpak is inmiddels ook voor andere deelgebieden van Waterschap Rivierenland succesvol toegepast.

De nieuwe standaardaanpak voor de watersysteemtoetsing van het waterschap is een belangrijke stap vooruit ten opzichte van de vorige toetsing. Binnen de toetsing is gebruik gemaakt van betere (basis)gegevens en modellen en is een geavanceerdere rekenmethodiek gebruikt.

### LITERATUUR

- 1) Velner R en M. Spijker (2011). Standaardwerkwijze voor de toetsing van watersysteem aan de normen voor regionale wateroverlast. STOWA. Rapport 2011-31.
- 2) Spijker M., T. Ruigrok, D. Gorter en J. de Graaf (2012). Ervaren watersysteemtoetsing in Rivierenland. H<sub>2</sub>O nr. 16, pag. 20-22.