

Interactief boezemcalamiteitenmodel Delfland

Wouter van Esse¹ Martijn Heinhuis² Wytze Schuurmans³

Veel waterschappen hebben een boezemstelsel. In extreme situaties kan het boezemstelsel overbelast raken en in dat geval zijn (calamiteiten)maatregelen nodig, zoals de inzet van calamiteitenberging of noodberging en het instellen van maalbeperking. Ook kan een boezemkade overlopen of doorbreken met een overstroming tot gevolg. Voor een goed onderbouwd calamiteitenbeheer is een calamiteitenmodel noodzakelijk, waarmee de juiste maatregelen op het juiste moment kunnen worden bepaald. Het hoogheemraadschap van Delfland heeft een nieuw interactief boezemcalamiteitenmodel ontwikkeld. Met het model kunnen neerslagsscenario's op basis van actuele radarbeelden, windscenario's en overstromingsscenario's interactief worden doorgerekend bij een (dreigende) calamiteit.

Inleiding

Het beheergebied van het hoogheemraadschap van Delfland is met 40.000 hectare relatief klein in omvang, maar waterhuishoudkundig bijzonder complex. De complexiteit is een gevolg van de verstedelijking van het gebied en de combinatie van polders en vrij afwaterend boezemland. Centraal door het gebied loopt het boezemstelsel. Bij extreme neerslag kan het boezempeil snel stijgen en kan de boezemkade overstromen of zelfs doorbreken. Voor het calamiteitenbeheer in extreme situaties hebben Nelen & Schuurmans en Delfland een nieuw boezemcalamiteitenmodel ontwikkeld. Voor het nieuwe calamiteitenmodel gebruikt Delfland 3Di vanwege de nauwkeurigheid, snelheid, de interactieve mogelijkheden en de visualisatie (STOWA, 2017). Het calamiteitenmodel is geschikt om te gebruiken bij extreme neerslag en een (dreigende) boezemkadebreuk en kan interactief worden gebruikt. Interactief betekent dat een lopende simulatie kan worden aangepast en dat resultaten van simulaties direct beschikbaar. Een scenario zoals het afkondigen van een maalstop, het inzetten van een calamiteitenberging, de inzet van noodbemaling of de impact van een kadebreuk zijn hierdoor direct toepasbaar.

Het grote voordeel van interactief werken is dat een unieke combinatie van scenario en maatregelen kan worden geanalyseerd en bijgesteld als de situatie daarom vraagt.

1 Nelen & Schuurmans, Utrecht (wouter.vanesse@nelen-schuurmans.nl)

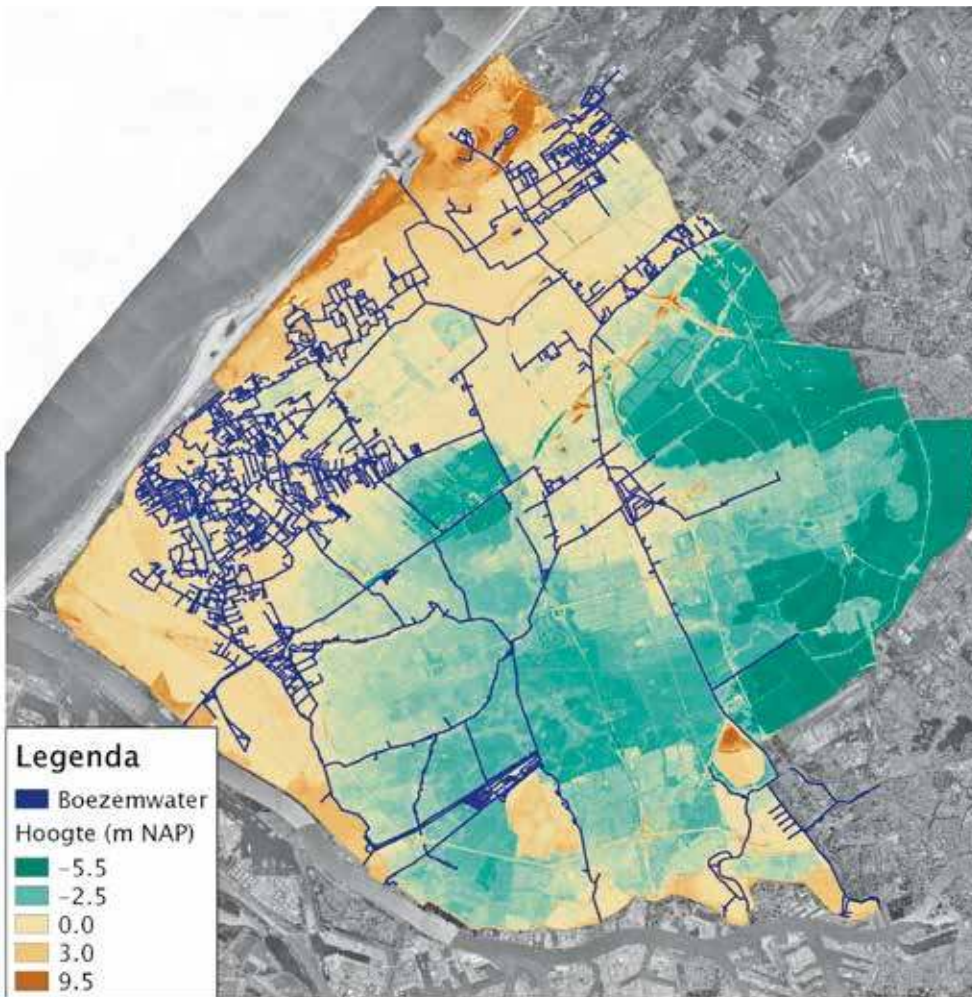
2 Hoogheemraadschap van Delfland, Delft (mheinhuis@hhdelfland.nl)

3 Nelen & Schuurmans, Utrecht (wytze.schuurmans@nelen-schuurmans.nl)

Het is dan niet nodig om vooraf alle mogelijke combinaties van scenario's en maatregelen door te rekenen en op te slaan. Een interactief model biedt bovendien dynamische informatie die relevant is voor het nemen van weloverwogen besluiten (Leskens, 2014). Naast de voordelen zijn er ook uitdagingen. Het boezemcalamiteitensysteem moet voldoende snel zijn om direct een berekening te kunnen uitvoeren en de resultaten te kunnen delen. Het systeem moet voldoende nauwkeurig zijn. Tenslotte moet het systeem bedrijfszeker zijn; op het moment suprême mag het calamiteitensysteem niet vastlopen.

Beschrijving van het boezemsysteem

Het boezemstelsel van Delfland bestaat uit een netwerk van 630 km aan kanalen die in open verbinding met elkaar staan. In het Westland vertakken de boezemwatergangen zich tot haarvaten die doorlopen tussen de glastuinbouwpercelen. In het boe-



Afbeelding 1: Beheergebied Hoogheemraadschap van Delfland met maaiveldhoogte en boezemwatergangen.

zemstelsel zitten talrijke bruggen en duikers, die mede bepalend zijn voor de afvoer-capaciteit. Het boezemwater wordt op het boezempeil (-0,40 m NAP) gehouden door 4 boezemgemalen die lozen op de Nieuwe Waterweg en de Noordzee.

Een derde van het beheergebied van het Hoogheemraadschap van Delfland bestaat uit vrij afwaterende gebieden. In afbeelding 1 zijn de boezemwatergangen en het maaiveldverloop weergegeven. De groenige gebieden zijn polders en voeren naar de boezem af via poldergemalen. Het Westland en Den Haag liggen boven NAP en voeren onder vrij verval af naar de boezem. Deze gebieden zijn voor een groot deel verhard, waardoor bij hevige neerslag een snelle afvoerpiek naar de boezem ontstaat. De neerslag-afvoerrelatie in het vrij afwaterende gebied wordt mede bepaald door de regenwaterbassins in het kassengebied en door de riooloverstorten in het stedelijk gebied. Als de bassins vol zitten, of wanneer de riooloverstorten in werking treden veroorzaakt dit een plotselinge piekafvoer in de haarvaten van het boezemstelsel.

Het merendeel van het beheergebied is poldergebied, waarbij 88 poldergemalen op de boezem lozen. Bij extreme neerslag kan een maalbeperking aan de poldergemalen worden opgelegd om de boezem te ontzien. Delfland beschikt daarnaast ook over een aantal calamiteitenbergingen die kunnen worden ingezet om de boezem te ontlasten.

Het calamiteitenmodel

Het voorgaande calamiteitsysteem bestaat uit een database met vooraf gedefinieerde en berekende overstromingsscenario's. Met het nieuwe 3Di boezemcalamiteitenmodel hoeven scenario's niet van tevoren worden vastgelegd maar worden direct berekend en getoond via een website. Het nieuwe model moet daarom naast nauwkeurig ook snel zijn. Delfland stelt hiervoor de eis dat het boezemcalamiteitenmodel binnen 10 minuten een scenario moet doorrekenen voor een neerslagscenario van 6 uur, of doorbraakscenario van 12 uur. Als nauwkeurigheidseis is gesteld dat het boezempeil tot op 2 centimeter nauwkeurig moet worden voorspeld. Voor de doorbraakscenario's is geen nauwkeurigheidseis gesteld, anders dan dat het zo nauwkeurig mogelijk moet zijn.

In de modelschematisatie moet een juiste balans worden gevonden tussen nauwkeurigheid en snelheid. Immers: hoe groter de modelschematisatie, hoe langzamer het model rekent. Voor het boezemcalamiteitenmodel is de schematisatie opgedeeld in de volgende onderdelen:

- Neerslag-afvoer boezemland; bestaande uit 2D infiltratie, interflow en stroming over maaiveld naar de 1D-watergangen
- Neerslag-afvoer poldergebieden; bestaande uit een vaste aanvoer naar de poldergemalen
- Boezemstelsel; bestaande uit hydraulisch 1D model van alle boezemwatergangen
- Overstromingsmodel; bestaande uit bresgroei vanuit het boezemstelsel en 2D stroming over maaiveld

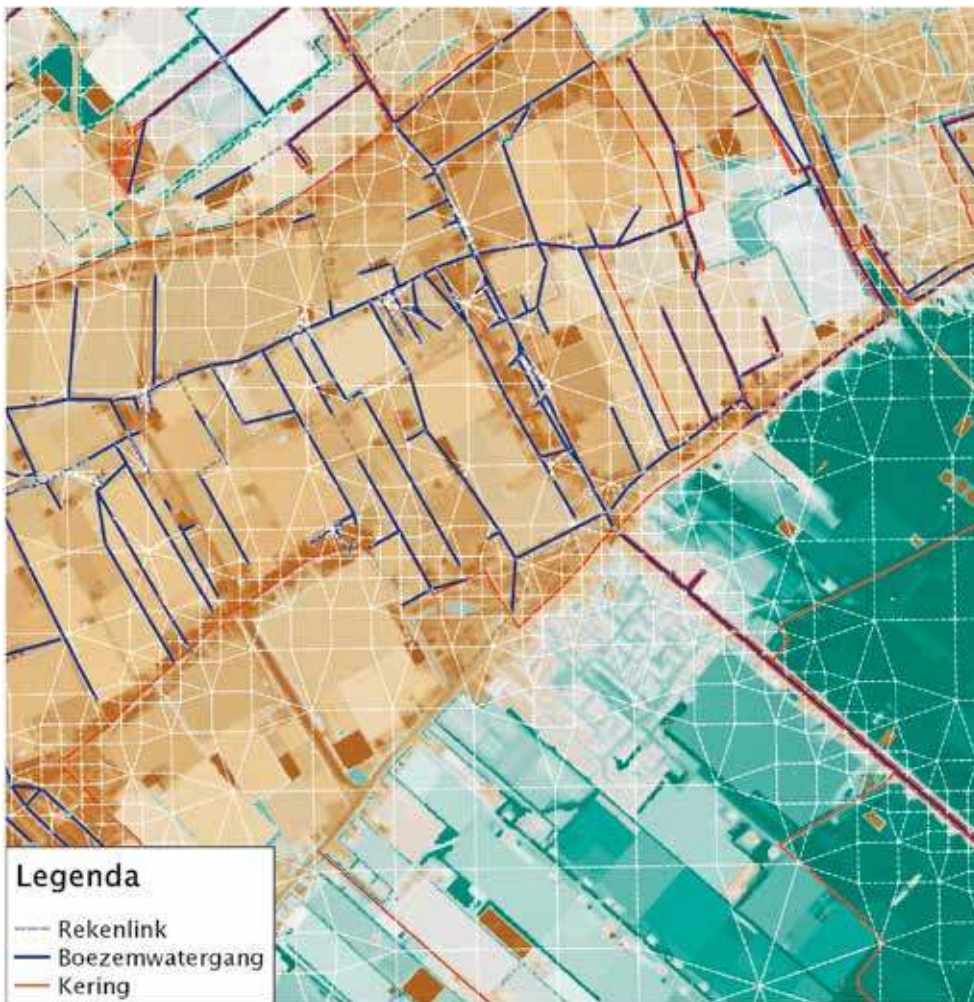
Hieronder beschrijven we hoe deze onderdelen zijn uitgewerkt.

Neerslag-afvoer boezemland

Het boezemland bestaat uit stedelijk gebied en kasgebied. Het stedelijk gebied (Den

Haag en de omliggende gemeenten) heeft grotendeels een gemengde riolering met een overstorten die op de boezem lozen. Van het stedelijk gebied zijn 3Di detailmodellen beschikbaar waarin de volledige riolering is opgenomen, maar voor het calamiteitenmodel zijn deze modellen te gedetailleerd. Daarom is een vereenvoudigde modelschematisatie nodig.

Het boezemland is in 2D gemodelleerd met een variabele roosterafstand (afbeelding 2). De kleinste rekencellen zijn 50x50 meter. Elke rekencel bevat rasterinformatie met een pixelresolutie van 5x5 meter met een aantal kenmerken zoals maaiveldhoogte en ruwheid, interflow-laagdikte en weerstand en infiltratiesnelheid. Het neerslagafvoerproces bestaat uit twee componenten: een trage afvoercomponent via de interflow-laag en een snelle oppervlakkige afstroming. Als neerslag valt wordt in eerste instantie de interflow-laag gevuld. Als deze laag vol is stroomt het neerslagoverschot oppervlakkig af naar het boezemstelsel. De interflow-laag is gekalibreerd om de ber-

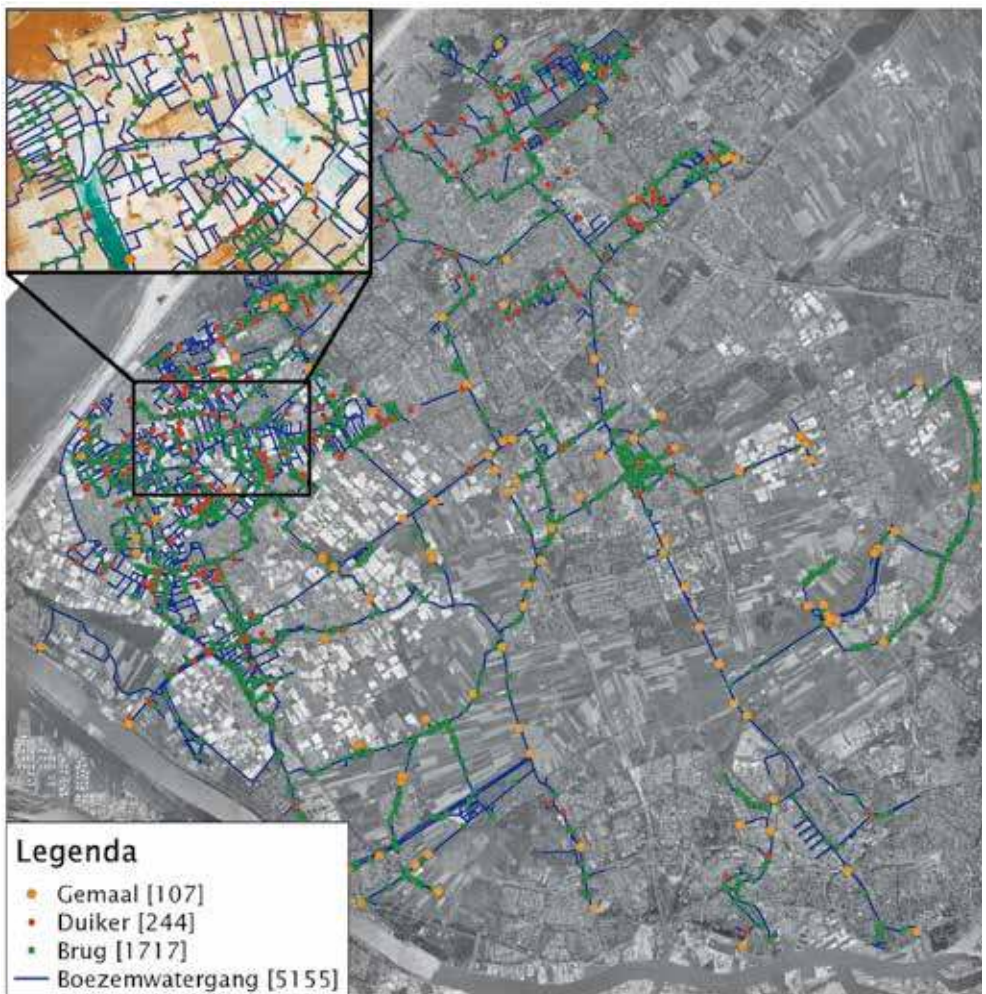


afbeelding 2 de afweging van de riolering te simuleren

Neerslag-afvoer poldergebieden

De polders vormen bij hevige neerslag een buffer, waarbij de capaciteit van het poldergemaal de afvoer naar de boezem beperkt. De polders belasten de boezem hierdoor meer geleidelijk dan het vrij afwaterend gebied. De nauwkeurigheid van de neerslag-afvoerrelatie in de polders is daarom minder belangrijk voor het voorspellen van de waterstand op de boezem. Immers: de poldergemalen bepalen de afvoer. Alle polderwatergangen in de modelschematisatie opnemen is daarom niet nodig en van uit rekensnelheid bovendien niet gewenst.

In het 3Di-model zijn alleen de poldergemalen opgenomen met hun maximale capaciteit. De gemalen reageren op de waterstand in een fictieve watergang met een laterale instroming. Deze werkwijze gaat ervan uit dat de poldergemalen maximaal afvoeren op de boezem tijdens een calamiteit, maar het is mogelijk de poldergema-



Afbeelding 3: Weergave van boezemwatersysteem in 3Di; inzet: boezemwatersysteem in kasgebied

len uit te schakelen of hun capaciteit te verlagen (of te verhogen bij noodbemaling) tijdens een simulatie. Voor detailsimulaties van wateroverlast in de polder heeft Delfland aparte, gedetailleerde 3Di-modellen beschikbaar waarin wel alle watergangen, het rioolstelsel, het maaiveld en de bodem zijn geschematiseerd. Het boezemcalamiteitenmodel kan nog worden uitgebreid met neerslag-afvoer bakjes in combinatie met de neerslagradar om het gedrag van de poldergemalen beter te simuleren.

Boezemstelsel

Er is een actueel boezemmodel in 1D gegenereerd, dat vergelijkbaar is met het bestaande 1D-stromingsmodel in SOBEK. Hierin zijn ook de kleine boezemkanalen in de haarvaten van het kasgebied opgenomen. Het boezemstelsel bevat 10.000 1D segmenten, 13.000 dwarsprofielen en 2000 duikers en bruggen.

In het model zijn ook de vier calamiteitenbergingen geschematiseerd in 2D. Via een inlaatkunstwerk kan de calamiteitenberging automatisch of handmatig interactief worden ingezet (zie afbeelding 4). De linker- en rechterboezemkades zijn apart als 1D kades geschematiseerd. Als de boezemwaterstand hoger stijgt dan de aangrenzende kade, begint de kade over te lopen en stroomt het water in de aangrenzende polder. Kades kunnen in het model ook doorbreken. Er zijn 100 potentiële doorbraaklocaties in het model opgenomen, waarop de gebruiker de kade door kan laten breken. Onderstaande afbeelding toont de ligging van al deze objecten, inclusief het sterk vermaast netwerk in het Westland.

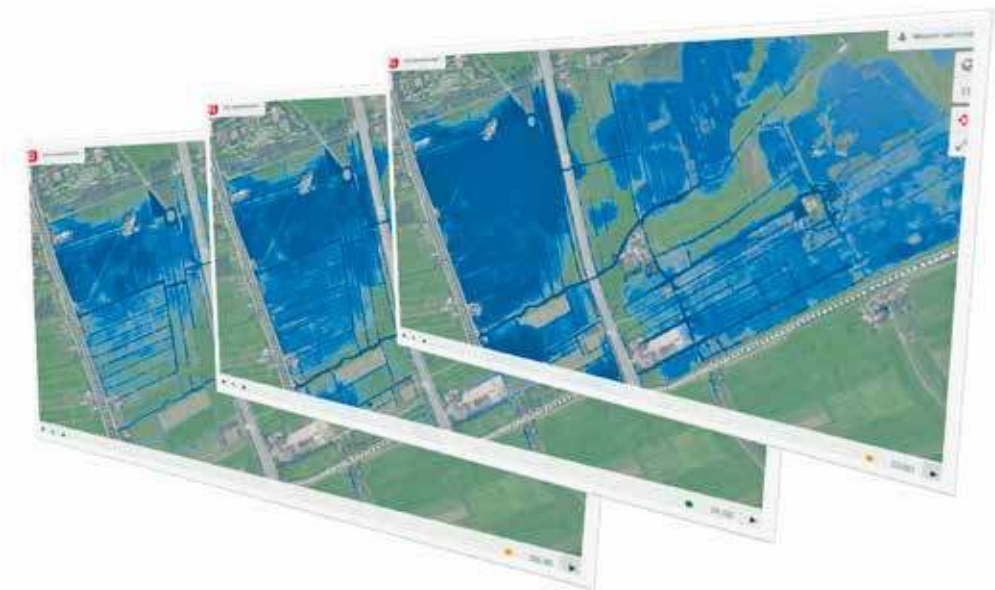
Overstromingsmodel

Het boezemcalamiteitenmodel berekent een overstroming ten gevolge van een kadebreuk via de automatische bresgroei formule van Verheij en van der Knaap (2002) en het 2D model. Bij een doorbraak wordt de initiële doorbraakbreedte opgegeven



Afbeelding 4: Inzet van calamiteitenberging en invloed op de waterstand in de boezem

en wordt de dynamisch bresgroei berekend op basis van ingestelde karakteristieken. De eigenschappen van de boezemkanalen bepalen hoeveel water kan worden aangevoerd naar de locatie waar de breuk is opgetreden. Het maaiveldmodel van de polder bepaalt hoe snel welke delen onder lopen. In het 2D model zijn ook polderkades en regionale keringen opgenomen voor een zo nauwkeurig mogelijk overstromingsbeeld. Afbeelding 5 toont een voorbeeld van de inundatie na een kadebreuk.



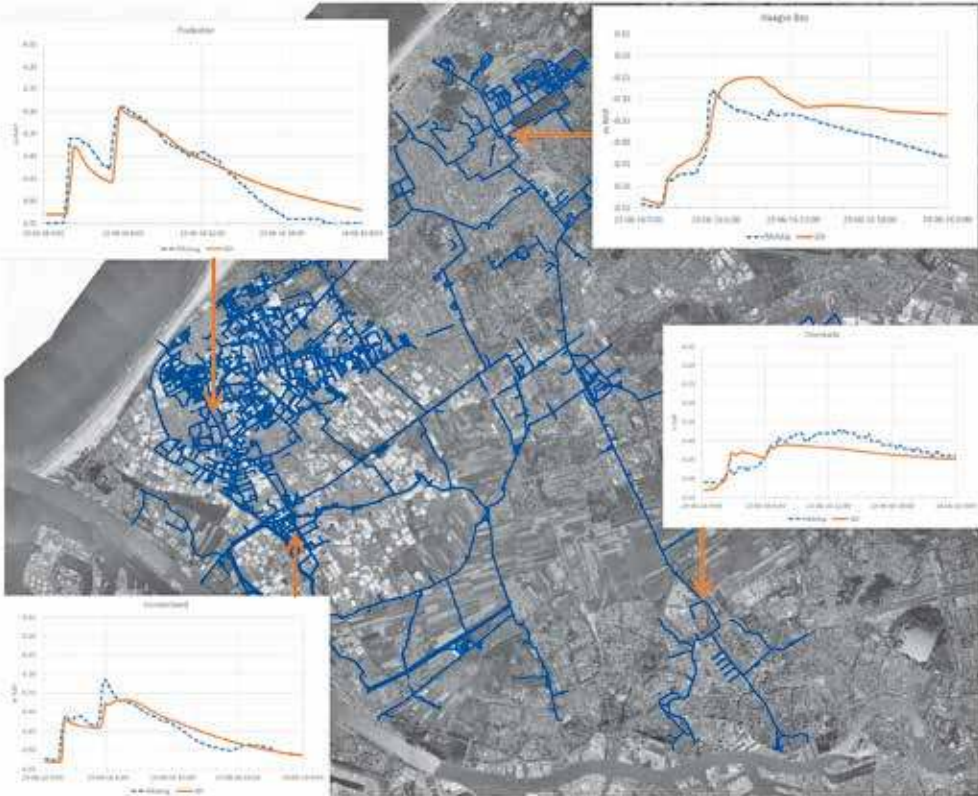
Afbeelding 5: Inundatiebeeld 30 minuten, 1 uur en 3 uur na kadebreuk

Kalibratie van het calamiteitenmodel

Om het model te kalibreren zijn de neerslaggebeurtenis van 23 juni 2016 en 9 september 2017 gebruikt. De neerslagradarbeelden met een temporele resolutie van 5 minuten zijn als input gebruikt voor de neerslagbelasting. Het model beschrijft de hydraulica van het boezemstelsel en de afvoer vanuit het kasgebied en de polders. Door de haarvaten in het kasgebied te modelleren wordt de praktijk nauwkeurig nabootst. Dit blijkt uit de berekende waterstanden in het Westland tijdens de hevige neerslag van 23 juni 2016. In het stedelijk gebied, met name bij Den Haag, worden de waterstanden in eerste instantie overschat. De berging en afvoer door de riolering is dan nog onvoldoende meegenomen.

Zoals gezegd is het niet haalbaar de gehele riolering van Den Haag en andere gemeenten in dit model mee te nemen. Maar omdat we detailmodellen van de riolering hebben weten we relatief veel van de berging in en afvoer vanuit het stedelijk gebied. We weten hoe groot de berging per rioleringsgebied is en dus hoeveel neerslag in ieder geval niet naar de boezem afvoert. We weten ook waar de overstorten zich bevinden en aan de hand van resultaten uit de detailmodellen hoeveel water ze wanneer afvoeren. We hebben deze eigenschappen in het model verwerkt met de interflow-laag.

Interflow in 3Di is een extra laag onder het maaiveld en is eigenlijk bedoeld om stroming van een dunne laag water te beschrijven (van Esse, 2017). De stroming vindt plaats volgens de Darcy vergelijking; de dikte van de laag, de porositeit, een te kiezen weerstand en het verhang bepalen de stroomsnelheid en het debiet. De dikte van de laag en de porositeit zijn in het calamiteitenmodel zo gekozen dat de berging in de interflow laag gelijk is aan die van de riolering. De weerstand is vervolgens gekalibreerd om de snelheid waarmee de riolering afvoert na te bootsen. De resultaten van de kalibratie zijn weergegeven in afbeelding 6. De interflow-laag bootst de afvoer uit de riolering goed na. De berekende wateroverlast geeft echter slecht een indicatie, hiervoor blijft een detailmodel noodzakelijk.



Afbeelding 6: Gemeten (blauw-gestreept) en berekende waterstanden (oranje)

Gebruik van het calamiteitenmodel

In het 3Di-model is het mogelijk om de effecten van kadebreuk, de inzet van een calamiteitenberging of noodbemaling te simuleren. Ook kunnen tijdens de simulatie kanalen afgesloten worden om het effect van afsluiters in de boezem te beoordelen. De hydrologen van Delfland kunnen dit real-time simuleren door tijdens een lopende berekening een locatie te selecteren. Hiervoor gebruikt Delfland een touchscreen dat in de calamiteitenruimte is opgesteld (afbeelding 7). De visualisatie van waterdieptes op het maaiveld en de stroomrichting in kanalen maken een snelle inschatting van de

situatie op de boezem mogelijk. Tijdens een calamiteit kan het waterschap hierdoor anticiperen op een mogelijke evacuatie of de impact van een overstroming.



Afbeelding 7: Martijn Heinhuis bedient het boezemcalamiteitenmodel via een touchscreen

Vooruitblik

Delfland heeft met het 3Di calamiteitenmodel een krachtig instrument dat geschikt is voor de calamiteitszorg. Het voorziet in de behoeftes vooraf, tijdens en na een calamiteit door snelle voorspellingen van waterstanden, effectiviteit van maatregelen en impact-analyse. Door het model te gebruiken blijft het operationeel en worden wijzigingen uit de praktijk doorgevoerd. Er is op deze manier altijd een actueel model van de boezem beschikbaar. Dat biedt kansen voor andere vraagstukken waarbij de boezem een rol speelt, zoals detailstudies naar planvorming, wateroverlast in stedelijk gebied, effect van wind en operationeel beheer.

Literatuur

Leskens, J.G., M. Brugnach, et al. (2014). Why are decisions in flood disaster management so poorly supported by information from flood models? *Environmental Modelling & Software* 53(0): 53-61

STOWA (2017) Stowa benchmark rapport 2017-34, ISBN 978.90.5773.759.6

Van Esse, W.R., Volp. N.D. (2017) Handleiding 3Di, <https://docs.3di.lizard.net>

Interactive calamity model Delfland

Many Dutch local water authorities use elevated canal networks for draining excess water from polders. In extreme weather conditions these networks may become overloaded. To prevent flooding emergency measures may be necessary, for instance: the use of calamity basins and restricting the discharge from polders. In an extreme event, levees may overflow or even breach. In order to take the right measures during an emergency situation a calamity model of the canal network is essential. The water authority of Delfland has developed a new interactive calamity model. This model enables the water authority to predict water levels during extreme weather conditions using real-time spatially distributed precipitation, wind and flooding scenarios interactively during (the onset of) an calamity.
