

Beslissen onder onzekerheid, de invloed van (model)onzekerheden op uitkomsten

DANIËL VAN DIJK EN TON BOTTERHUIS

In de Stowa-studie "Onzekerheden bij wateroverlast, impact op berekende schades en investeringen" zijn waterschappers geïnterviewd. Zodoende zijn vier grote onzekerheidsbronnen geïdentificeerd. Op volgorde van grootste onzekerheid betreffen dit: schattingen van schades door wateroverlast (waterschadeschatter), fouten in beheerregister, onzekerheden rondom kalibratie en onzekerheid in (toekomstige) neerslagbelasting. Door deze afzonderlijke onzekerheidsbronnen wordt de wateropgave in de berekening een factor 2 tot 5 onder- of overschat. Het gecombineerde effect van deze bronnen zal tot een nog grotere afwijking leiden.

Waterschappen kunnen zelfstandig desinvesteringen tegengaan door beheerregisters op orde te houden en gedegen modelkalibraties en -validaties uit te voeren. Voor de overige (waterschapsoverkoepelende) onzekerheidsbronnen heeft Stowa een trekkersrol, namelijk het verzamelen en actualiseren van schadefuncties en -bedragen, en het condensereren van deze kennis in de waterschadeschatter, het ondersteunen van waterschappen met kennis voor modelkalibraties en, als laatste, het continueren en ontsluiten van de toekomstige neerslag- en verdampinginschattingen.

Ten slotte kan met de ontwikkelde methodiek de invloed van onzekerheden beter in beeld worden gebracht. Zo kan de effectiviteit van gevoelige of dure maatregelen zorgvuldiger worden afgewogen met medeweging van onzekerheden. In het verleden is hierdoor gebleken dat politiek gevoelige en dure noodoverloopgebieden rondom de grote rivieren een niet zo'n effectieve maatregel was dan aan de voorkant werd gedacht.

Inleiding

Voor de besluitvorming over de inrichting van de Nederlandse watersystemen maken de waterschappen gebruik van modeluitkomsten. De hoeveelheid en nauwkeurigheid van gegevens die voor en door modellen worden gebruikt neemt toe, door de voortschrijdende technische ontwikkelingen en simpelweg doordat de beschikbare tijdreeksen van neerslag, afvoer en waterstanden steeds langer worden. Niettemin is en blijft voorzichtigheid geboden met modeluitkomsten, want modellen zijn en blijven vereenvoudigde weergaven van de werkelijkheid. Dat onzekerheden over bijvoorbeeld de actuele situatie in het veld, de opgetreden neerslag of de toekomstige neerslag effect hebben op de uitkomst van een (model)berekening is algemeen bekend. Maar hoe groot zijn

Artikel

nu de effecten van dergelijke onzekerheden? En zou een beleidsmaker of bestuurder anders hebben besloten als zij/hij meer inzicht zou hebben gehad in deze onzekerheden? Precies op die vragen gaat dit artikel in.

In een Stowa-onderzoek getiteld 'Onzekerheden bij wateroverlast, impact op berekende schades en investeringen' (Van Dijk e.a., 2019) zijn met interviews onder 20 waterschapshydrologen de grootste onzekerheden in modelstudies geïnventariseerd. Deze hebben we vervolgens doorgerekend voor twee cases (Kockengen en Boxmeer), door eerst de mogelijke waarden en waarschijnlijkheden van de modelinvoer te bepalen en vervolgens op basis van duizenden modelsimulaties voor de verschillende onzekerheidsbronnen betrouwbaarheidsbandbreedten van de modeluitkomsten vast te stellen. Dit geeft een uniek inzicht, aangezien de effecten van onzekerheden op modeluitkomsten, naar ons weten, nog niet eerder op deze schaal zijn vastgesteld in het regionale waterbeheer.

In dit artikel laten wij zien dat de gevonden onzekerheden in de modeluitkomsten groot zijn. Het blijft dan ook noodzakelijk om voortdurend te werken aan de verkleining van die onzekerheden, de belangen en investeringen zijn immers groot. Aan het eind van het artikel doen we hiervoor een aantal aanbevelingen.

De vraag

In het Stowa-onderzoek 'Onzekerheden bij wateroverlast' is de vraag gesteld welke, en in welke mate, onzekerheden in het waterbeheer van belang zijn voor investeringsbesluiten over de inrichting van de Nederlandse watersystemen? De volgende deelvragen zijn gedefinieerd:

- Welke modelgerelateerde onzekerheden zijn het meest bepalend voor investeringsbesluiten?
- Hoe vertalen de modelonzekerheden zich door naar berekende onzekerheden in de wateropgave, uitgedrukt in geïnundeerd oppervlak in hectare en optredende schade in € (welke in een kosten-batenanalyse mede bepalend is voor de berekende kosteneffectiviteit van maatregelen)?
- Dienen onzekerheden in de toekomst expliciet meegenomen te worden om daarmee de kwaliteit van besluitvorming te vergroten?

Welke onzekerheden zijn het belangrijkste?

Begin 2018 interviewden we twintig hydrologen werkzaam bij evenveel waterschappen. We bevroegen hen op de grootste onzekerheidsbronnen voor modelresultaten, gebaseerd op de ervaringen uit de praktijk. Dat hebben we gespiegeld aan onze eigen ervaringen met de modellen van de waterschappen. Daarbij is gefocust op hoogwaterstudies, zoals stresstesten en/of wateropgaven. Onzekerheden die werden geïntroduceerd door de keuze voor een modelprogramma (modelcode) of de kennis en kunde van de modelleur zijn buiten beschouwing gelaten. Anders gezegd, hiervan nemen we aan dat deze in principe uitwisselbaar zijn met de resterende onzekerheid in de modelparameters (na kalibratie) en daarmee geen nieuwe onzekerheid introduceren.

Uit de interviews kwam een duidelijk beeld naar voren van de typen onzekerhe-

den die als het meest bepalend worden beschouwd. Deze typen zijn onderverdeeld in twee categorieën:

Categorie 1 (verantwoordelijkheid waterschap):

- Het beheerregister (de dimensies en capaciteiten van dwarsprofielen en kunstwerken);
- De bodemeigenschappen, ofwel de kalibratieparameters die het neerslagafvoerproces in de bodem beschrijven;
- Monitoringsgegevens van oppervlaktewater (afvoeren en waterstanden)¹.

Categorie 2 (domein van Stowa):

- De neerslagstatistiek van extreme neerslaggebeurtenissen, met inbegrip van de onzekerheden in de waarnemingen, de klimaatontwikkeling en de statistische beoordeling zelf;
- De schadebedragen en -functies, zoals opgenomen in de WaterSchadeSchatter (WaterSchadeSchatter, 2017).

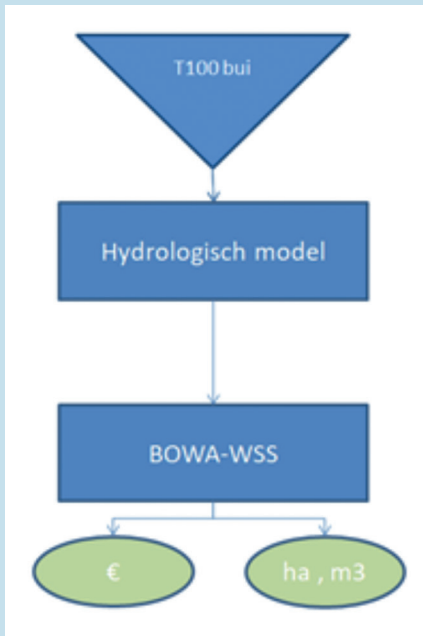
Beschouwde onzekerheden representeren verschillende studiefases

De beschouwde bronnen komen terug in verschillende fases in modelstudies voor stresstesten en/of overlaststudies. Vaak wordt gestart met het omzetten van (waterschaps-)gegevens in een schematisatie. Zo is het beheerregister een typisch onderdeel van de schematisatie, informatie waarvan aanvankelijk wordt uitgegaan als 'zonder onzekerheid'. Daarna tunen we in de kalibratiefase onder andere de bodemeigenschappen (of -parameters) om tot een realistische weergave te komen van een gemeten afvoersituatie. Hierbij zijn uiteraard de compleetheid en correctheid van de monitoringsgegevens van groot belang. Zowel als randvoorwaarden van het model in de kalibratieberekening, als in de beoordeling van de simulatie van opgetreden afvoeren en waterstanden. De volgende fase is het belasten van een model met toekomstige (maatgevende) buien om het watersysteem (en maatregelen) te beoordelen. Ten slotte wordt de doelmatigheid van maatregelen medebepaald door vermeden (toekomstige) schade te onderzoeken, bijvoorbeeld met een kosten-batenafweging. Daar de genoemde bronnen van onzekerheid grotendeels onafhankelijk zijn van elkaar, geven ze een eerste indruk van de mate van onzekerheid die door elk van deze onderdelen wordt geïntroduceerd.

Hierbij wordt het volgende opgemerkt: de modeluitkomsten worden in de praktijk met kennis en kunde beoordeeld, waardoor veel onvolkomenheden in het beheerregister en monitoringsgegevens door modelleurs en beleidsmedewerkers worden opgespoord en verbeterd tijdens het kalibratieproces. In het ultieme geval worden ontbrekende en incorrecte gegevens direct verbeterd in de legger (Moorman e.a., 2008; Velner e.a., 2010). Daarnaast wordt vaak een grote creativiteit ten toon gespreid om met nieuwe informatiebronnen extra systeemkennis boven water te krijgen. Niet alle fouten worden echter opgespoord, doordat het gedrag van het watersysteem niet op iedere willekeurige locatie wordt gemeten en ook niet alle locaties evenveel aandacht krijgen in de kwali-

¹ De invloed van monitoringsgegevens zijn verwerkt bij de kalibratie van bodemeigenschappen

teitsborging van modelresultaten. Als vereenvoudiging en als bovengrensbepaling hebben we daarom de effecten van onzekerheden inzichtelijk gemaakt zonder deze te verminderen op basis van het beheerdersoordeel.



Afbeelding 1 Stroomschema referentieberekeningen

Het 'rekenhart' bestaat uit een hydrologisch model (Sobek2 met neerslagafvoermodel) en een schademodel (BOWA-WaterSchadeSchatter). Het hydrologische hart is in eerdere studies uitgebreid gevalideerd en gekalibreerd. Daarom gaan we ervan uit dat dit model de 'werkelijkheid' nauwkeurig simuleert. Ofwel, de berekende inundaties in m³ en hectares en bijbehorende schades in euro's zijn de best-mogelijke schatting. Hierdoor kunnen de effecten van allerlei onzekerheden kwantitatief worden geanalyseerd en vergeleken met de – voor deze studie – gemiddelde T100-situatie. Het referentiemodel is voor elke case apart opgesteld.

Bandbreedten in de vingers

Methode

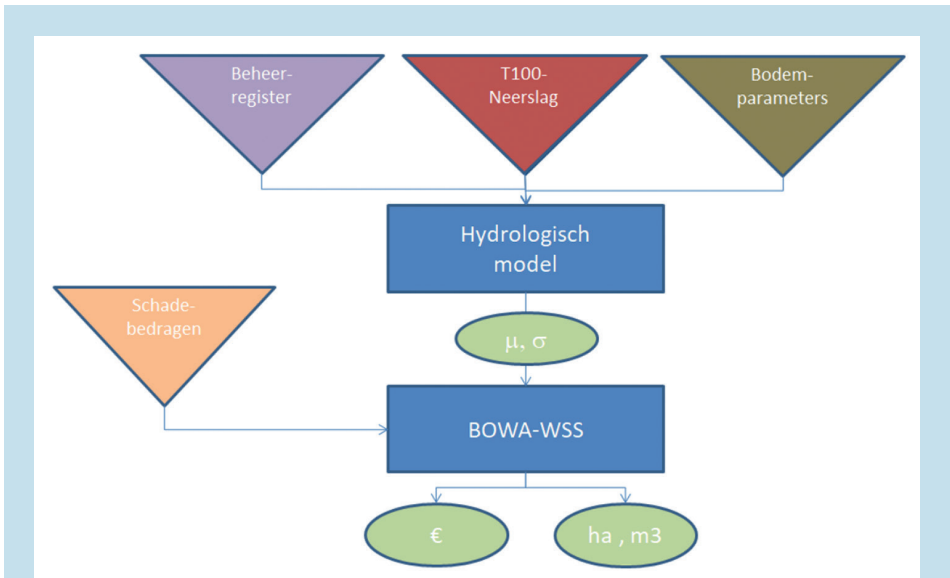
Met behulp van modelberekeningen is per onzekerheidsbron in kaart gebracht wat de mogelijke uitkomsten zijn en welke betrouwbaarheidsbandbreedten hierbij horen. Daarvoor is een aantal stappen doorlopen (zie de inzetkaders). Zo is een referentiemodel (afbeelding 1) opgesteld en zijn vervolgens voor de benoemde onzekerheidsbronnen de gemiddelde waarden en spreidingen vastgesteld (afbeelding 2).

Twee casestudies

Voor twee verschillende gebieden is het effect van onzekerheden in beeld gebracht. De gekozen gebieden zijn een kleiige, vlakke polder en een zandig, hellend stroomgebied. Samen zijn de cases representatief voor een groot deel van Nederland:

- Case Kockengen (polder De Tol met daarin de plaats Kockengen) in het beheergebied van Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden (Bosch, 2018 en Henckens en Engel, 2017), afbeelding 3.
- Case Boxmeer (het gebied de Zandkant in het hellende gebied van de Raam rond de plaats Boxmeer) in het stroomgebied van waterschap Aa en Maas (Ijpelaar e.a., 2013), afbeelding 4.

Belangrijk was dat voor beide cases recent sprake is geweest van wateroverlast. Bovendien beschikten ze beiden over een gekalibreerd hydrologisch model².



Afbeelding 2 Stroomschema gevoeligheidsberekeningen

De vier onzekerheidsbronnen zijn middels probabilistische of gevoeligheidsanalyses gekwantificeerd. Hiervoor zijn (vooraf) bandbreedte, gemiddelde waarde en kansverdeling vastgesteld. Met behulp van sampling van de invoer (voor elke onzekerheidsbron apart) is net zolang gevarieerd, totdat de verhouding tussen de gemiddelde waarde en de standaarddeviatie van de uitvoer niet meer veranderde naarmate meer samples worden doorgerekend. Dit is een veilig stopcriterium voor de Monte Carlo sampling; nieuwe trekkingen geven geen nieuwe inzichten meer.

De effecten van onzekerheden in het beheerregister zijn bepaald door per berekening 'fouten' te introduceren in duikerdiameters, aanleghoogten, stuwbreedten, kruinhoogten, bodemhoogte en doorstroomprofielen van watergangen en pompcapaciteiten van gemalen, gebaseerd op ervaringen uit de praktijk.

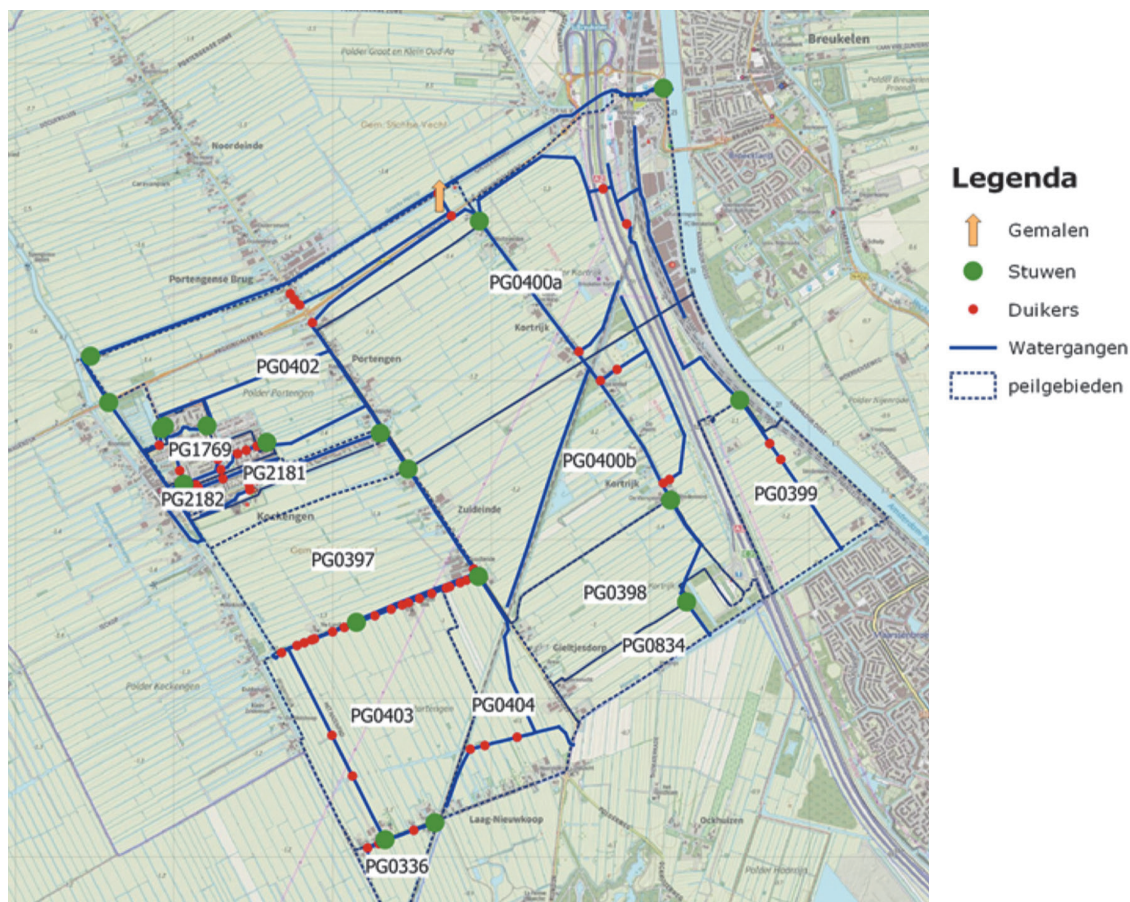
Bij de T100-situatie zijn verschillende schattingen van het klimaat beschouwd en zijn de statistische en klimaatonzekerheden rondom de neerslagvolumen geprojecteerd op een vierdaagse neerslag som met een middenhoog neerslagpatroon. Dit is zowel voor het vigerende klimaatscenario gedaan, als

² Aangezien - toevalligerwijs - beide modellen door dezelfde persoon zijn opgebouwd en gekalibreerd, zijn onzekerheden rondom kennis en ervaring tot het minimum gereduceerd.

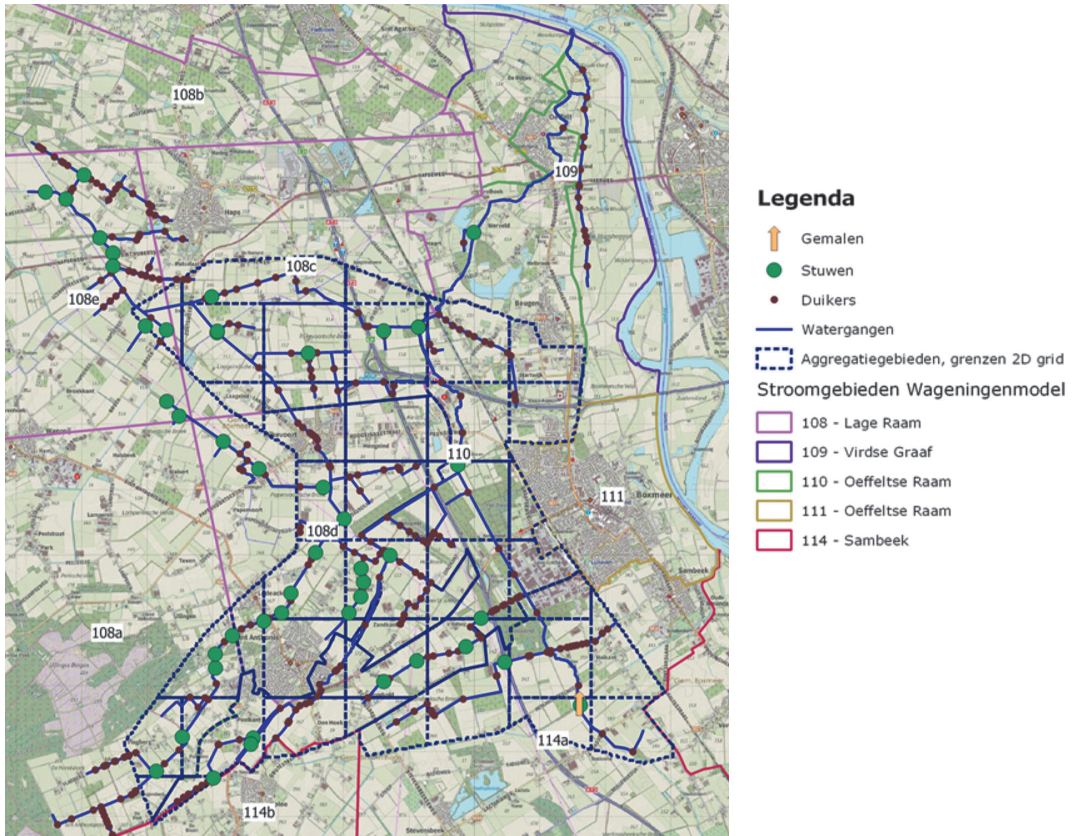
voor het ensemble van alle klimaatscenario's (KNMI 2004 t/m KNMI 2019), zie ook www.meteobase.nl.

Voor de bodemparameters die het neerslag-afvoerproces beschrijven is teruggegrepen op eerdere studies (Botterhuis, 2010), waarbij de restonzekerheid van de parameterwaarden is gekwantificeerd. Dit betreft de onzekerheid die overblijft na een goede kalibratie. Deze bandbreedten zijn opnieuw geprojecteerd op de parameters in deze studie.

Ten slotte zijn ook de schadebedragen voor de verschillende landgebruiksfuncties allerminst zeker. Aan de hand van Wagenaar e.a. (2016) en Leenders en De Jong (2018) zijn de gevoeligheid van maximale schadebedragen en de vorm van schadefuncties op de totale eindschade in beeld gebracht. Daarbij is de indirecte schade buiten beschouwing gelaten vanwege een bug in de versie van de WaterSchadeSchatter die tijdens het onderzoek beschikbaar was.



Afbeelding 3 Watersysteem Kockengen met peilvakken, gemalen, stuwen, duikers en watergangen. (Achtergrond Open Topo®).



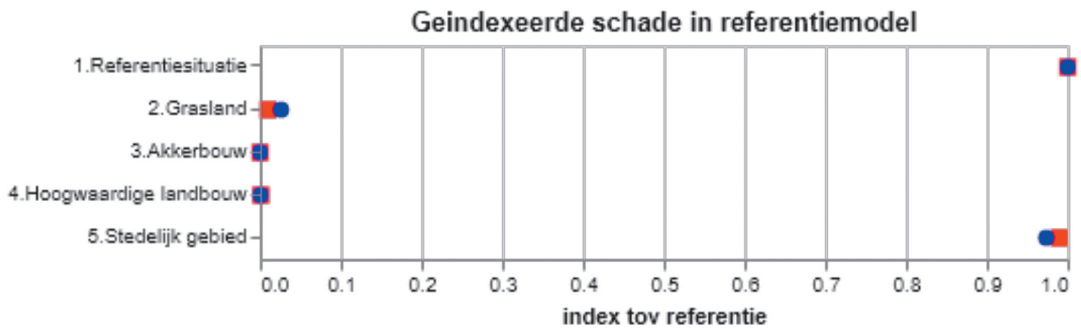
Afbeelding 4 Watersysteem Boxmeer met stroomgebieden voor het hydrologische model (Wageningen-model), watergangen, duikers, stuwen en de aggregatiegebieden waarin de waterstanden zijn geanalyseerd. Deze gebieden zijn gebaseerd op het 2D grid in het rekenmodel (achtergrond Open Topo®).

Relatieve bijdrage stedelijk gebied dominant

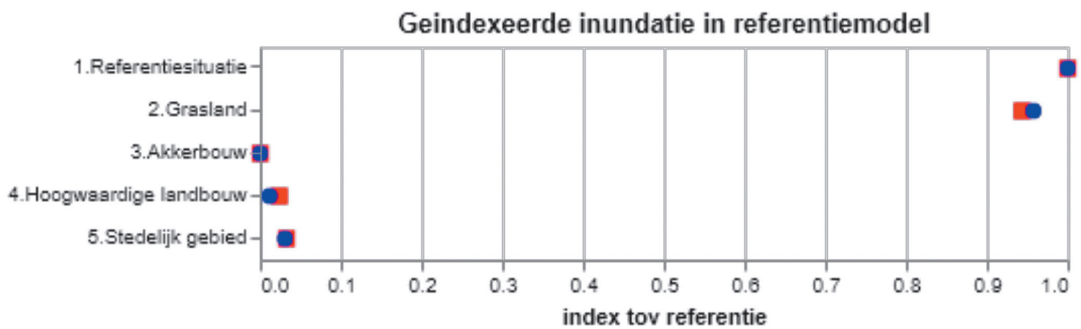
De absolute schades en inundatiearealen verschillen tussen de cases Boxmeer en Kockengen en zijn niet goed vergelijkbaar. Daarom presenteren we de geïndexeerde resultaten van de huidige situatie in afbeelding 5 en 6. Waarbij we de schades hebben opgesplitst naar de bijdragen van de afzonderlijke grondgebruiksklassen grasland, akkerbouw, hoogwaardige landbouw en stedelijk gebied naar het model van WaterSchadeSchatter.

Afbeelding 5 toont de effecten van modelonzekerheden op schadebedragen en afbeelding 6 op inundatiearealen. De blauwe cirkels behoren bij Boxmeer en de rode vierkanten bij Kockengen. De totaal berekende referentieschade (of inundatie) staat voor index 1 (ofwel 100%). De bijdragen van de afzonderlijke grondgebruiksklassen is dan bijvoorbeeld circa 0,03 voor grasland in afbeelding 5 wat gelijk is aan circa 3% van de totaal berekende referentieschade.

Voor zowel Boxmeer als Kockengen vindt minder dan 5% van de inundatie plaats in stedelijk gebied, terwijl deze goed is voor 95% van de schade. Onder stedelijk gebied worden hier alle oppervlakten bedoeld die in de WaterSchadeSchatter als gebouw, bedrijf, primaire weg of spoorbaan staan geregistreerd. De overige 95% inundatie vindt voornamelijk plaats op grasland.



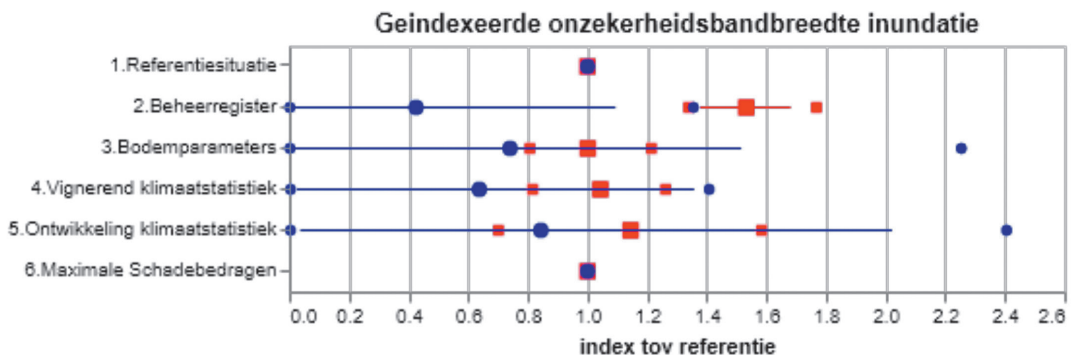
Afbeelding 5 Opbouw van geïndexeerde schade (€) op basis van het referentiemodel voor Kockengen (rood vierkant) en Boxmeer (blauw cirkel) onderverdeeld naar landgebruiksklassen.



Afbeelding 6 Opbouw van geïndexeerde inundatieareaal (hectare) op basis van het referentiemodel voor Kockengen (rood vierkant) en Boxmeer (blauw cirkel) onderverdeeld naar landgebruiksklassen.

Grafiekenleeswijzer

De afbeeldingen 7 en 8 tonen de invloed van (model)onzekerheden op de uitkomsten van modelstudies. Afbeelding 7 toont de effecten van modelonzekerheden op inundatiearealen en afbeelding 8 op schadebedragen. De afbeeldingen zijn opnieuw geïndexeerd naar de referentiesituatie, zodat de casestudies vergelijkbaar zijn en de invloed van onzekerheden makkelijker kan worden vergeleken met elkaar. Een index van 1,2 staat dus voor 1,2 keer de referentie-



Afbeelding 7 Geïndexeerde onzekerheidsbandbreedte van inundatieareaal per onzekerheidsbron met minimale, maximale en gemiddelde schadebedragen inclusief de 90-percentielintervallen voor Kockengen (rode vierkanten) en Boxmeer (blauwe cirkels).

schade (of referentie-inundatieareaal). Per beschouwde onzekerheidsbron is een aparte 'regel' in de grafiek opgenomen. De rode, vierkante symbolen horen bij Kockengen, de blauwe, cirkelvormige bij Boxmeer. De meeste regels tonen een (kleiner) symbool voor begin- en eindpunt, een lijn en een groter middelpuntsymbool. Deze staan voor de minimaal en maximaal berekende waarde, het 90-percentielgebied van de uitkomsten (dit is het gebied waarin 90% van de simulatieresultaten vallen, 5% van de resultaten is lager, 5% hoger) en de gemiddelde waarde. Zo kan in één oogopslag bekeken worden of de gemiddelde waarden als gevolg van onzekerheidsbeschouwing leiden tot een grotere of kleinere impact en het gevoeligheidsinterval van de onzekerheid (kleine of grote spreiding van de uitkomsten).

Toelichting onzekerheidsbandbreedten

De bovenste regel in de verticaal gerangschikte onzekerheidsbronnen in afbeelding 7 en 8 toont de referentiesituatie. Deze is per definitie gelijk aan 1,0.

De effecten van onzekerheden in capaciteiten, aanleghoogten en afmetingen uit het beheerregister (in de tweede regel) zijn tegenovergesteld voor Boxmeer en Kockengen. In de platte polder Kockengen geldt het principe van de zwakste schakel: een fout in de gegevens die doorwerkt als beperking van de afvoercapaciteit (al is het slechts één object) leidt altijd tot een verhoging van de waterstand in een vlak gebied en daarmee tot een grotere schade.

Dit zwakste-schakel-principe zorgt in hellend gebied soms juist voor kleinere berekende schades. Zo wordt in model Boxmeer water vastgehouden in de bovenstroomse beekdalen, waardoor gevoelige gebieden worden ontlast. Hierdoor zijn de kunnen berekende schades in hellend gebied juist ook veel kleiner uitvallen dan in de referentiesituatie.

De effecten van bodemparameters zijn niet één op één vergelijkbaar tussen Kockengen en Boxmeer³. De studie Kockengen toont de restonzekerheid van een goed gekalibreerd model. Boxmeer laat zien wat de effecten zijn als parameters worden geschat op basis van mogelijke parameterbandbreedtes zonder aanvullende kalibratie. Hierbij is wel gevarieerd rondom de oorspronkelijke kalibratieparameters. Dit resulteert in een aanzienlijke grotere bandbreedte voor

3 Kockengen is gekalibreerd met een SobekRR-model, waarbij we de (a posteriori) resterende onzekerheid van de Bateastudie (Stowa 2010-15) hebben toegepast. Dit betreffen gekalibreerde bandbreedtes van parameters die allen tot een 'goed resultaat' leiden en waarvan niet gezegd kan worden welke unieke parametercombinatie beter is. Boxmeer heeft het Wageningen-model als neerslagafvoermodel. Aangezien hier de Bateastudie niet één op één kon worden toegepast, is een a priori sampling gemaakt van parametercombinaties die binnen waarschijnlijkheidsgrenzen vallen, waarbij de parameters geschaald op alle vier de gekalibreerde deelgebieden zijn toegepast. De uitkomsten zijn echter niet meer vergeleken met de metingen en daarmee is hier meer sprake van een gevoeligheidsanalyse dan van een kalibratie. Dit wil niet zeggen dat het referentiemodel van case Boxmeer onnauwkeuriger is dan de case Kockengen. Voor de modellering, gebruikt in case Boxmeer, was eenvoudig geen informatie beschikbaar van de restonzekerheid na kalibratie. Wij beschikten alleen over informatie van de kalibratieparameters voorafgaand aan de kalibratie.

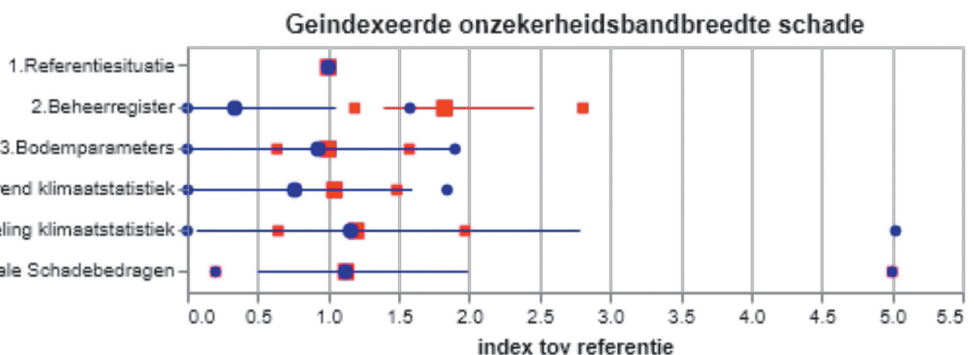
Boxmeer dan voor Kockengen. We kunnen echter ook concluderen dat nauwkeurige metingen, een gedegen kalibratie en de kunde van de modelleur meerwaarde heeft: de onzekerheden rondom de modeluitkomsten tussen Boxmeer en Kockengen zijn fors gereduceerd.

Met de vigerende klimaatstatistiek wordt de statistische onzekerheid volgens Smits e.a. (2004) en klimaatonzekerheid volgens Beersma e.a. (2015) bedoeld. Waar de buivolumes variëren van 122 tot 140 mm voor T100 voor klimaatzichtjaar 2050 zien we dat in Kockengen ook bij de kleinste buivolumes inundaties optreden op gevoelige terreinen. Meer water leidt tot meer inundatieareaal en daarmee meer schade. De referentiewaarden liggen in het midden van de bandbreedten. In het hellende gebied van Boxmeer leiden de kleinste buien in 2050 niet of nauwelijks tot inundatie, waardoor een veel schevere verdeling rondom de referentiewaarde ontstaat. Dit hellende gebied lijkt dus vooral gevoelig voor de meest extreme neerslagvolumes.

Ook de kennis over het toekomstig klimaat ontwikkelt continu, vernieuwde inzichten resulteren vaak in grotere neerslagvolumes. Op basis van Smits e.a. (2004), Botterhuis (2010), Beersma e.a. (2015) en een inschatting van de verwachte resultaten van het huidige klimaatonderzoek 'Lange duren' is de bandbreedte van de toekomstige neerslag opnieuw ingeschat. De totale bandbreedte betreft 110 tot 172 mm, waarbij 172 mm is gebaseerd op 15% extra neerslagvolume voor de 4-daagse T100-stochasten, in lijn met de korte-duurstatistiek. In de resulterende onzekerheidsbandbreedte zien we vooral de indrukwekkende toename in schades en inundaties als gevolg van de extreemste buien.

De laatste regel in afbeelding 7 en 8 toont de gevoeligheid rondom (directe) maximale schadebedragen en parameters van schadefuncties. We zien alleen variatie in schade en niet in inundatie, omdat het hydrologische model en de neerslagbelasting niet veranderen.

Volgens Wagenaar e.a. (2016) kunnen de schadebedragen een factor 2 tot 5 afwijken, waarmee de berekende tot de grootste onzekerheden behoort. Deze grote spreiding wordt veroorzaakt door de waardering van het stedelijk



Afbeelding 8: Geïndexeerde onzekerheidsbandbreedte van schadebedragen per onzekerheidsbron met minimale, maximale en gemiddelde schadebedragen inclusief haar 90 percentielspanwijdte voor Kockengen (rode vierkanten) en Boxmeer (blauwe cirkels).

gebied. Een kleine analyse van de resultaten laat zien dat de WaterSchadeSchatter de invloed van stedelijk gebied fors groter inschat dan die van andere landgebruiksklassen. Andere schademodelen, zoals HIS-SSM (Leenders, 2014), schatten de stedelijke schades lager in. Daarnaast zijn de landgebruikskaarten niet altijd actueel. Een abusievelijk toegekend gebouw in landbouwgebied doet de berekende schades orders van grootte toenemen. Kortom, de nauwkeurigheid van de achterliggende schadekentallen en landgebruikskaarten zijn niet onomstotelijk vastgesteld, wat een substantieel effect heeft op de uitkomsten.

De verschillende onzekerheidsbronnen zijn hier onafhankelijk van elkaar beschouwd, dus òf alleen de neerslagvolumes, òf alleen de bodemparameters. Het sommeren van alle onderzochte bronnen zal leiden tot een grotere bandbreedte van onzekerheid, zeker omdat de beschouwde bronnen min of meer als onafhankelijk van elkaar beschouwd kunnen worden (zie eerder dit artikel).

Conclusies en aanbevelingen

In het Stowa-onderzoek 'Onzekerheden bij wateroverlast, impact op berekende schades en onzekerheden' (Van Dijk e.a., 2019) is onderzocht wat de grootste bronnen van onzekerheid zijn en wat hun effect op beleidsinvesteringen zijn. Uit interviews met 20 waterschappers zijn vier bronnen geïdentificeerd. De grootste onzekerheden betreffen de schattingen van schades door wateroverlast (WaterSchadeSchatter) daarna fouten in beheerregister (wat ligt waar en hoe groot?) en vervolgens onzekerheden rondom kalibratie en onzekerheid in neerslagbelasting. Door onzekerheden wordt de wateropgave tot een factor 2 tot 5 onder- of overschat voor deze afzonderlijke onzekerheidsbronnen. Het gesommeerde effect van deze bronnen zal leiden tot een nog grotere afwijking.

Stowa en waterschappen kunnen het volgende doen om met deze onzekerheden om te gaan en de desinvesteringen rondom de wateropgave, als gevolg van die onzekerheden, tegen te gaan:

- Schadefuncties en -bedragen in de WaterSchadeSchatter updaten, waaronder informatie verzamelen van reeds uitgevoerde studies en onderzoeken voor tal van overheden. De WaterSchadeSchatter wordt daarmee een condensatiepunt van state-of-the-art kennis rondom waterschadepredicties. De Stowa kan hier een voortrekkersrol in hebben door haar WaterSchadeSchatter daartoe in te richten en de kennis via goede uitwisselplatformen ter beschikking te blijven stellen.
- Zorgdragen voor het verminderen van onvolkomenheden in de beheerregisters. Dit is primair een waterschapstaak, maar kan ondersteund worden vanuit de Stowa op het gebied van kennisuitwisseling en technieken. Het op orde houden van de data is een kosteneffectieve methode om de wateropgave te reduceren en de kans op ongelukkige investeringen te verminderen (denk bijvoorbeeld aan dure gestuurde waterbergingsgebieden), alsook het verminderen van oplopende onderzoekskosten doordat de beheerdata incorrect bleek. De noodzaak van een up-to-date beheerregister wordt door geïnterviewde waterschappers onderschreven.
- Voor kalibratie zijn blijvende meetprogramma's van afvoeren en waterstanden van belang. Vanuit de Stowa kunnen waterschappen ondersteund worden

door beschikbare (bodem-)gegevens vanuit het dataportaal van het Nationaal Hydrologisch Instrumentarium (NHI) breed onder de aandacht te brengen. Daarnaast kan de Stowa best-practices van hydrologische modellen en kalibraties onder de aandacht brengen, conform de benchmark "inundatie reken maar" waar dit is gedaan voor overstromingsmodellen.

- De effecten van neerslagonzekerheden tonen aan dat door de waterschappen en Stowa gefinancierde producten en onderzoeken, zoals Weer Informatie WaterBeheer (WIWB, 2016), de klimaatstudies en de studies naar de statistiek van neerslag- en verdamping nuttig en noodzakelijk zijn. Het onderzoek bevestigt de juistheid van het voornemen van Stowa om te blijven investeren in deze producten en studies.

Ten slotte kunnen we met de ontwikkelde methodiek de invloed van onzekerheden beter in beeld brengen. Zo kan de effectiviteit van minder robuuste of dure maatregelen zorgvuldiger worden afgewogen met medeweging van onzekerheden. In het verleden bleek hierdoor dat de destijds beoogde noodoverloopgebieden rondom de grote rivieren een niet zo'n effectieve maatregel vormden als vooraf werd gedacht (Stijnen, 2007). De opgedane ervaring is daarmee een nuttige aanvulling als zorgvuldige afweging noodzakelijk is.

Dankwoord

We bedanken iedereen die aan dit onderzoek heeft meegewerkt als geïnterviewde of als lid van de begeleidingscommissie, te noemen: Robin Biemans, Joost Heijkers, Dolf Kern, Alex de Klerk en Jack de Wilt. Verder bedanken we de Stowacommissie Wateroverlast onder wiens auspiciën dit onderzoek is uitgevoerd.

Literatuur

- Beersma, J., J. Bessembinder, T. Brandsma, R. Versteeg en H. Hakvoort** (2015) Actualisatie meteogegevens voor waterbeheer 2015, neerslag- en verdampingsreeksen. Stowa-rapport 2015-10, Amersfoort.
- Bosch, S.** (2018) Meer zicht op vereisten die aan een hydrologisch model gesteld moeten worden; onderzoek naar modelfunctionaliteiten in een veenweidegebied met dorpskern. Stowa-rapport 2018-68 (in review), Amersfoort.
- Botterhuis, T.** (2010) Hydrologische modelonzekerheid, kalibratie van gebiedsneerslag en modelparameters (Batea onderzoek). Stowa-rapport 2010-15, Amersfoort.
- Dijk van, D., D. Klopstra en T. Botterhuis** (2019) Onzekerheden bij wateroverlast, impact op berekende schades en investeringen. Stowa-rapport 2019-48, Amersfoort.
- Henckens, G. en W. Engel** (2017) Benchmark Inundatiemodellen, Modelfunctionaliteiten en testbank berekeningen. Stowa-rapport 2017-34, Amersfoort.
- Ijpelaar, R., S. Bosch en J. Moorman** (2013) Gebiedsdekkend Hoogwatermodel 2.0 van Waterschap Aa en Maas. Aa-en-Maas-rapport (in voorbereiding) November 2013, Den Bosch.
- Leenders, J.** (2014) Schadebepaling Friese polders met HIS-SSM; Vergelijking resultaten schade per kadering in Friesland volgens ipo-richtlijnen, WaterSchadeSchatter en HIS-SSM. HKV-Notitie PR2992.11, 17 december 2014, Lelystad.

- Leenders, J en A.K. de Jong** (2018) Watersysteemtoets De Dommel, knelpunctenanalyse. HKV-rapport PR3809.10, Lelystad.
- Moorman, J, K., Peerdeman en M. van de Wouw** (2008) De Hydrologische Geveerdheidskist. Visie op het ontwikkelen en beheren van hydrologische systeemkennis. Waterschappen Aa en Maas, Brabantse Delta en De Dommel.
- Smits, I., J. Wijngaarden, R. Versteeg en M. Kok M** (2004) Statistiek voor extreme neerslag in Nederland. Stowa-rapport 2004-26, Amersfoort.
- Stijnen, J.** (2007) Bergen met onzekerheden; in: Stromingen, vol 13 nummer 02, pag 11-22
- Velner, R., Th. Kleinendorst, B. van der Wal en F.TH. Verhagen** (2010) Een oproep aan hydrologisch Nederland: Voor een moderne werkwijze bij databeheer en modelleren; in: Stromingen, jaargang 2010 vol 01.
- Wagenaar, D.J., K.M. de Bruijn, L.M. Bouwer en H. de Moel** (2016) Uncertainty in flood damage estimates and its potential effect on investment decisions; in: Nat. Hazards Earth Syst. Sci., vol 16, pag 1-14.
- WaterSchadeSchatter** (2017) WaterSchadeSchatter (WSS), gebruikshandleiding. Rapport Nelen & Schuurmans en Deltares M0183, R0127, 8 juni 2017. Website: www.waterschadeschatter.nl
- WIWB** (2016) Weer Informatie Waterbeheer. Website: <https://www.hetwaterschapshuis.nl/pagina/producten/waterveiligheid/weer-informatie-waterbeheer-wiwb.html>, laatst gecontroleerd 19 november 2018.

Summary Decisions under uncertainty, impact of (model) uncertainties on study outcomes

The Stowa research "Uncertainties around flooding, consequences for calculated damages and investments" (in dutch: onzekerheden bij wateroverlast, impact op berekende schades en investeringen (Stowa, 2019)) investigates the largest sources of uncertainties regarding calculations of and investments on prevention of flooding. With questionnaires hydrologists working for water boards identified four sources (ordered impact wise): economic damage caused by flooding (using the Dutch online platform waterschadeschatter), errors in the asset register, uncertainties on model calibration and finally uncertainties concerning (feature) precipitation. Due to these uncertainties, the total flood impact for a single source of uncertainty is under – or overpredicted with a factor 2 to 5. Moreover, combination of sources will lead to an even larger deviation.

Individual water boards can avoid divestments by keeping their asset register up-to-date and perform decent model calibrations and validations. The Stowa, on the other hand, is in lead for the remaining trans-waterboard uncertainty sources. First, keeping the platform waterschadeschatter up-to-date by collecting and updating damage functions and asset values. Secondly, supporting water boards with their model calibration task and, finally, continuing research on (feature) precipitation and evaporation predictions.

Last but not least, the developed approach can be used to weigh the impact of uncertainties on the effect of flood prevention measures. Being so, the efficiency of

sensitive and expensive measures can be weighed more carefully by taking uncertainties into account. This importance is earlier showed (Stijnen, 2019), where the political sensitive and expensive retention polders along the large Dutch rivers appeared to be less effective or even a deterioration for high water level reduction.

Auteur

DANIEL VAN DIJK
HKV Lijn in Water, Lelystad
dijk@hkv.nl

TON BOTTERHUIS
HKV Lijn in Water, Lelystad
botterhuis@hkv.nl