

Marjolein Mens, Deltares

Ruben Dahm, Deltares

Martin Ebskamp, TU Delft

Ans Elfrink, Waterschap Veluwe

Verkennend modelleren: inzicht in het effect van onzekerheden

Bij het afwegen van maatregelen in het waterbeheer ontstaat steeds meer aandacht voor het omgaan met onzekerheden in modelsimulaties. Kennis over onzekerheden is relevante informatie bij het bepalen van bijvoorbeeld de wateropgave. Vaak blijkt het echter lastig om onzekerheden op een consistente manier te vertalen in bruikbare informatie voor besluitvorming. ‘Verkennend modelleren’ is een structurele benadering om onzekerheidsinformatie te genereren en dit te koppelen aan keuzes over maatregelen. In een afstudeeronderzoek is deze methode toegepast op een stroomgebied van Waterschap Veluwe. Uit de resultaten blijkt hoe de berekende waterstand verandert als andere aannames gedaan worden voor modelinvoer en parameterwaarden. Vervolgens is dit vergeleken met de onzekerheid in het toetspeil. Dit artikel laat zien dat de expliciete presentatie van onzekerheid in de modeluitkomst meer inzicht geeft in het watersysteem en handvatten biedt voor de keuze van maatregelen.

Waterschappen maken regelmatig afwegingen over kostbare maatregelen in hun beheergebied. Over het algemeen worden deze afwegingen ondersteund met modelresultaten. Deze zijn echter vaak omgeven met onzekerheid. Onzekerheid bestaat bijvoorbeeld doordat meetgegevens om te kalibreren ontbreken en parameterwaarden gekozen moeten worden. Daarnaast kan onzekerheid bestaan over waar het systeem precies aan moet voldoen.

Modeluitkomsten, onzeker of niet, vormen

een belangrijk middel om te bepalen of het systeem voldoet aan normen, bijvoorbeeld die voor wateroverlast in het Nationaal Bestuursakkoord Water (NBW). Als uit modelberekeningen blijkt dat het watersysteem niet aan een norm voldoet, treft een waterschap meestal maatregelen, bijvoorbeeld het realiseren van extra waterberging of het vergroten van de afvoercapaciteit van kanalen. Door de onzekerheden bestaat echter de kans dat een waterschap investeert in maatregelen die overbodig zijn. Of maatregelen worden juist te klein gedimensioneerd, zodat in de werkelijkheid het probleem niet wordt

verholpen. Hier heeft onzekerheidsanalyse een rol om inzichtelijk te maken hoe onzekerheden de besluitvorming over een maatregel beïnvloeden.

Hoewel de meeste waterbeheerders bekend zijn met methoden voor onzekerheidsanalyses, past slechts een aantal ze consequent toe. Meestal worden allerlei aannames gedaan, resulterend in een beste schatting van de modeluitkomst. Een enkele keer voert men een gevoeligheidsanalyse uit om een idee te krijgen voor de mogelijke variatie in modeluitkomst en welke bronnen van onzekerheid hieraan de grootste bijdrage leveren.

De Grote Wetering voor en na een flinke bui.



In dit artikel staat een alternatieve benadering voor het omgaan met onzekerheden centraal: verkennend modelleren (in de wetenschappelijke literatuur bekend als Exploratory Modeling). Het is een uitgebreide gevoeligheidsanalyse die inzicht geeft in het gecombineerde effect van de belangrijkste onzekerheden op modelresultaten. In tegenstelling tot traditionele onzekerheidsanalysemethoden, besteedt 'verkennend modelleren' veel aandacht aan resultaatpresentatie en de relatie met besluitvorming. Enerzijds bieden de resultaten een houvast voor betrokkenen (beheerders, bestuurders, beleidsmedewerkers, hydrologen, etc.) om te discussiëren over de gevoeligheid en de betrouwbaarheid van het model. Anderzijds geven de resultaten de mogelijkheid om de uit het model voortvloeiende keuzes voor maatregelen beter te onderbouwen.

In een afstudeeronderzoek²⁾ is 'verkennend modelleren' toegepast voor de NBW-toetsing van de Noordelijke IJsselvallei, een polder in het beheergebied van Waterschap Veluwe. Deze toepassing geeft inzicht in de combinaties van modelparameters waarbij het model wateroverlast simuleert in de Noordelijke IJsselvallei, het effect van het gebruiken van neerslagpatroon met voorgeschiedenis versus een neerslagpatroon zonder voorgeschiedenis én het effect van verschillende manieren van filtering van het Algemeen Hoogtebestand Nederland (AHN).

De methode

Het basisprincipe achter 'verkennend modelleren' is het verkennen van de onzekerheidsruimte. Hiervoor wordt het model gedraaid met verschillende combinaties van parameter- en invoerwaarden. Dit gebeurt zonder aannames over kansverdelingen, wat een voordeel is ten opzichte van onzekerheidsanalyse. Wel moeten betrokkenen het erover eens zijn dat de gekozen minimale en maximale waarden redelijkerwijs voor kunnen komen in de werkelijkheid. Bij het toepassen doorloopt men de volgende stappen:

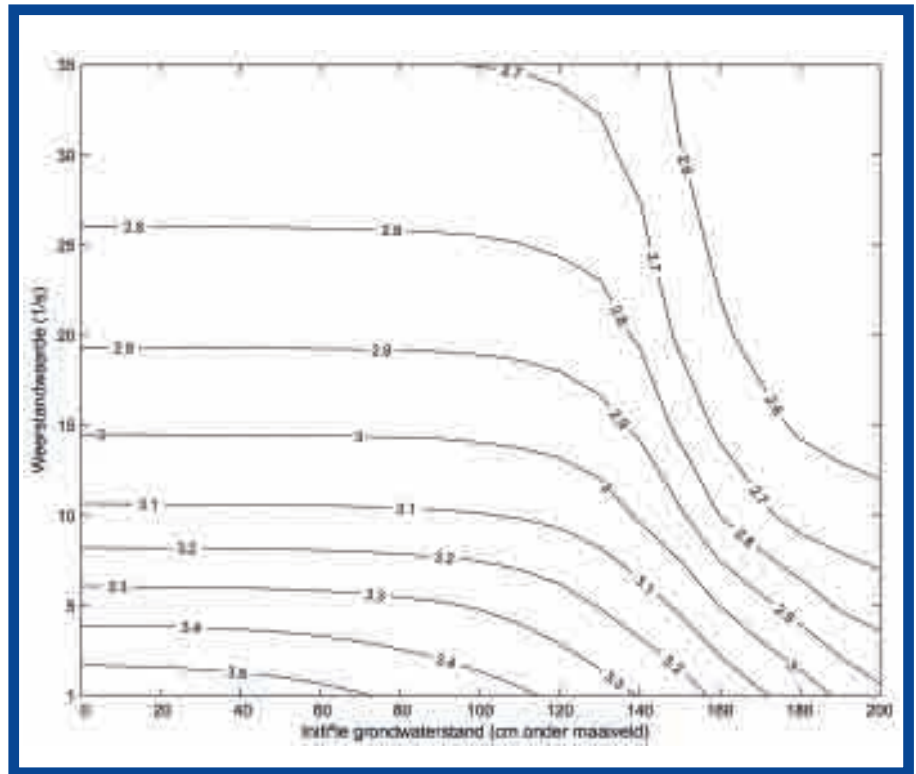
- systeemdefinitie en probleemformulering,
- overzicht van de bronnen van onzekerheid en keuze van de meest relevante bronnen op basis van hun effect op de modeluitkomst,
- bouwen van een model of 'schil' om een bestaand model, zodat een groot aantal simulaties kan worden gedraaid,
- simuleren;
- keuze voor het beslis criterium,
- visualisatie van de resultaten in zogenaamde discussiekaarten.

De laatste twee stappen besteden aandacht aan de vertaling van modelresultaten naar de besluitvorming. Een modeluitkomst wordt meestal vergeleken met een norm, of het is een criterium bij de beoordeling van alternatieve maatregelen. Onzekerheid kan effect hebben op het halen van een norm of het kan de voorkeursselectie van alternatieve maatregelen beïnvloeden.

Casus Noordelijke IJsselvallei

Systemdefinitie en probleemformulering

Het stroomgebied van de Noordelijke



Afb. 1: Gesimuleerde maximale waterstanden op locatie 'Kromme Beek' voor een neerslagsituatie met voorgeschiedenis.

IJsselvallei ligt in het oostelijk deel van het beheergebied van Waterschap Veluwe en is circa 21.000 hectare groot. Het gebied is hellend en loopt af richting het noorden met een totaal hoogteverschil van 15 meter. Het stroomgebied loost water op de IJssel door vrije afwatering en bemaling³⁾. Waterschap Veluwe moet voldoen aan normen voor wateroverlast die zijn vastgelegd in het Nationaal Bestuursakkoord Water. Voor grasland betekent dit dat vijf procent van de oppervlakte mag inrunderen bij een neerslagsituatie met een herhalingstijd van tien jaar. Deze norm wordt met behulp van een hoogtekaart omgezet naar een toetspeil per peilgebied. Vervolgens wordt met een SOBEK-model de maximale waterstand in de watergangen berekend als gevolg van een neerslagsituatie met een herhalingstijd van tien jaar. De maximale waterstand kan dan vergeleken worden met een toetspeil (het peil waarbij vijf procent van het oppervlak onder water staat). Het waterschap neemt maatregelen voor die locaties waar de waterstand boven het toetspeil uitkomt. Alle maatregelen bij elkaar vormen de wateropgave.

Belangrijke bronnen van onzekerheid

Zowel bij het gebruik van het model als het afleiden van locatiespecifieke toetspeilen, moeten keuzes worden gemaakt. Hiermee wordt onzekerheid geïntroduceerd. Keuzes die relatief veel invloed hebben op de modeluitkomst zijn⁴⁾: de representatieve neerslagsituatie, de weerstand van de watergang en de initiële grondwaterstand.

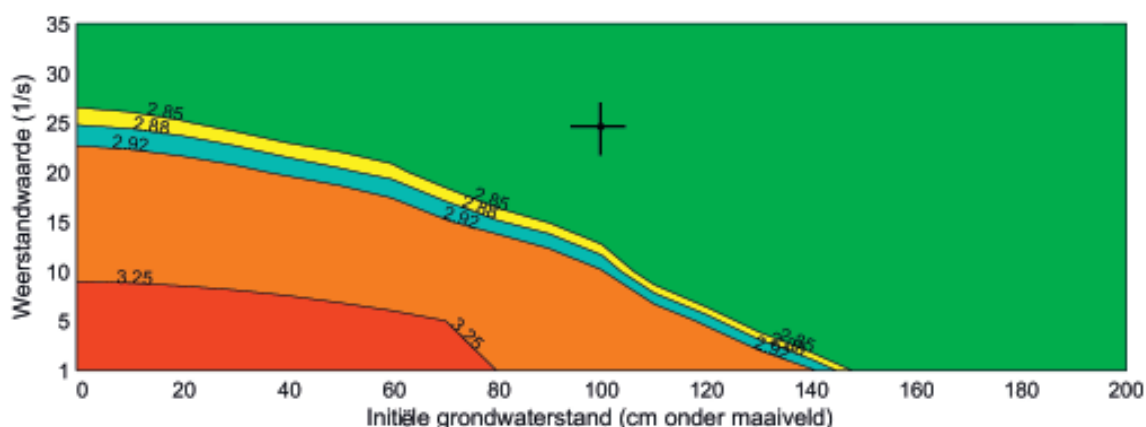
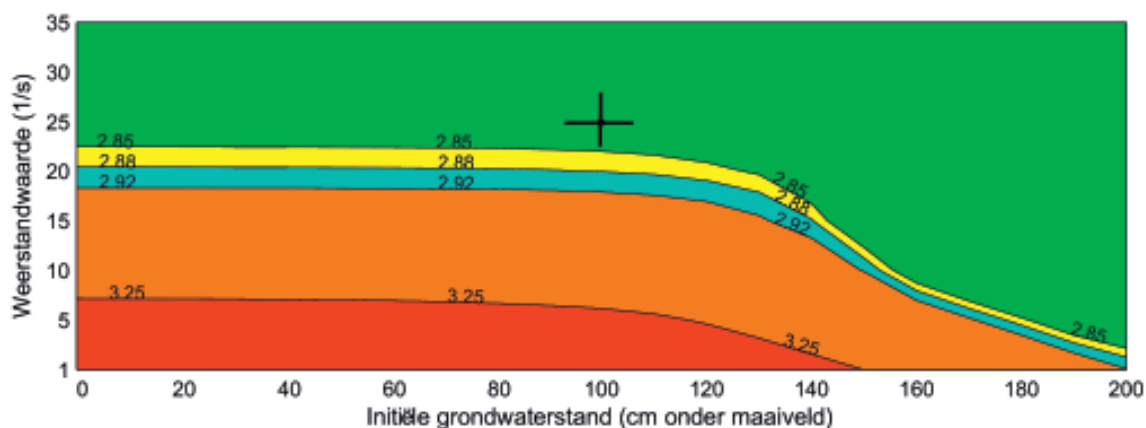
Een vierde bron van onzekerheid komt niet voort uit de modelberekening, maar uit het afleiden van het toetspeil. Het toetspeil wordt bepaald aan de hand van hoogtedata (AHN). Het toetspeil voor grasland is het waterpeil waarbij, volgens de hoogtekaart,

vijf procent van de oppervlakte onder water staat. Vaak kiezen waterschappen ervoor om watergangen niet mee te rekenen in het totale oppervlak, omdat de norm niet geldt voor de watergangen zelf. Dit wordt filteren van het hoogtebestand genoemd. Een waterschap maakt de keuze tussen: niet filteren, alleen hoofdwatergangen filteren of zowel hoofdwatergangen als kleinere watergangen filteren. Omdat deze watergangen meestal lager liggen dan de rest van het gebied, leidt filteren in de meeste gevallen tot een hoger toetspeil (minder streng).

Model en simulaties

Met het bestaande SOBEK-model zijn de maximale waterstanden berekend als gevolg van een neerslagsituatie die statistisch gezien één keer per tien jaar optreedt. Er is gerekend met één neerslagsituatie met voorgeschiedenis (totale duur van 41 dagen) en één neerslagsituatie zonder voorgeschiedenis (totale duur van negen dagen). De korte situatie is geselecteerd uit de lange situatie, waardoor het verloop van de bui over de tijd identiek is voor dit deel van de tijdserie. De neerslaghoeveelheid van de korte bui is vergelijkbaar met die van de negendaagse STOWA-bui met een herhalingstijd van tien jaar⁵⁾. Een neerslagsituatie zonder voorgeschiedenis is gebruikelijk bij een toetsing aan de hand van de stochastenmethode, terwijl een tijdreeksanalyse uitgaat van een situatie met voorgeschiedenis.

Deze neerslagsituaties zijn gecombineerd met verschillende waarden voor de weerstandscoëfficiënt van de watergang (De Bos & Bijkerk) en initiële grondwaterstand. De weerstand is gevarieerd tussen één en 35 s^{-1} met een stapgrootte van 5 s^{-1} . Hierbij representeert 1 s^{-1} een volledig dichtge-



Waterstand (m +NAP)	Norm (%)	Filtermethode	Toetspeil (m +NAP)
<2,85	5	Ongefilterd	2,85
2,85 - 2,88	5	Hoofdwatgangen	2,88
2,88 - 2,92	5	Hoofdwatgangen en waterlopen	2,92
2,92 - 3,25	-	Gemeten hoogte v/d watergang (bron: SOBEK)	3,25
>3,25	-		

Afb. 2: Maximale waterstand op locatie 'Kromme Beek'. Boven: neerslagsituatie met voorgeschiedenis. Onder: neerslagsituatie zonder voorgeschiedenis (Rood betekent gesimuleerde wateroverlast).

groeide watergang en 35 s^{-1} een zeer gladde watergang. De initiële grondwaterstand is gevarieerd van 0 tot 200 centimeter onder maaiveld, met intervallen van tien centimeter. Hierbij is 0 centimeter het fysische maximum en 200 centimeter onder maaiveld meestal lager dan de gemiddeld laagste grondwaterstand. Dit resulteerde in 168 simulaties per neerslagsituatie.

Keuze voor beslis criterium

In andere toepassingen van 'verkenning modelleren' is het gebruikelijk om in deze stap te bepalen waarop een maatregel wordt geëvalueerd. Dit beslis criterium bepaalt dan welke modeluitkomsten gepresenteerd worden in de discussiekaarten (laatste stap). Zoals gezegd wordt in de voorliggende toepassing de berekende maximale waterstand enkel vergeleken met een locatiespecifiek toetspeil. Zodoende tonen de discussiekaarten de maximale waterstand in een watergang als gevolg van een maatgevende neerslagsituatie in vergelijking met het toetspeil. Zowel de bandbreedte van de berekende waterstand als die van het toetspeil wordt getoond.

Visualisatie in discussiekaarten

Belangrijk onderdeel van 'verkenning modelleren' is het presenteren van resultaten in een zogenaamde discussiekaart (zie afbeelding 2). We laten hieronder voor één locatie eerst de modelresultaten zien (zie afbeelding 1) en daarna de vergelijking van waterstanden met toetspeilen.

Afbeelding 1 toont de modelresultaten voor locatie 'Kromme Beek'. De figuur heeft drie dimensies: de eerste twee dimensies zijn de twee bronnen van onzekerheid waarvoor de maximale waterstand het gevoeligst is (x-as en y-as), en de derde dimensie is de berekende maximale waterstand (isolijnen). Het gebied linksboven in afbeelding 1 is representatiever voor een wintersituatie. Het is dan relatief nat met weinig begroeiing in de watergangen. De zomersituatie bevindt zich meer rechts in de discussiekaart. In de wintersituatie, dus bij initiële grondwaterstanden van 0 tot circa 120 centimeter onder maaiveld, is het model gevoeliger voor weerstandwaarde dan voor de grondwaterstand. De toenemende dichtheid van de isolijnen bij lagere weerstandwaarden

geeft aan dat het model hier gevoeliger is; een kleine verandering in weerstandwaarde heeft een relatief groot effect op de maximale waterstand.

Afbeelding 2 maakt de vertaalslag naar de vergelijking met het toetspeil. De isolijnen representeren nu de mogelijke toetspeilen. De waterstanden tussen de isolijnen hebben één kleur gekregen. Het grondgebruik op locatie Kromme Beek is gras, waarvoor de vijf procent-norm geldt. Oranje geeft bijvoorbeeld aan dat de waterstand hier lager is dan de rand van de watergang ($< \text{NAP} + 3.25 \text{ m}$), maar hoger dan de norm die volgt uit vijf procent-filtering van de hoofdwatgangen ($> \text{NAP} + 2.92 \text{ m}$).

Het verschil tussen de bovenste en de onderste discussiekaart toont het effect van de keuze tussen een neerslagsituatie met en zonder voorgeschiedenis. Voor de locatie 'Kromme Beek' leidt een neerslagsituatie met voorgeschiedenis tot hogere waterstanden. Op basis van de discussiekaarten krijgt het waterschap dus inzicht in het belang van het bepalen van de initiële grondwaterstand in combinatie met de keuze voor de neerslagsituatie.

Een waterschap kan afbeelding 2 als volgt gebruiken:

Voorbeeld 1: Stel, het model wordt normaal gesproken ingesteld op een weerstandswaarde van 25 s^{-1} en een initiële grondwaterstand van NAP -100 cm (zie indicatie in afbeelding 2). Op locatie Kromme Beek berekent het model dan een maximale waterstand van 2,7 meter (neerslagsituatie met voorgeschiedenis). Dit is lager dan alle mogelijke toetspeilen voor grasland, dus de norm wordt gehaald ongeacht de filtermethode. Op dezelfde manier kan uit de kaart worden afgeleid vanaf welk combinatie van parameters de norm niet meer gehaald wordt.

Voorbeeld 2: Een zomersituatie met begroeide watergangen (10 s^{-1}) voldoet in de situatie met voorgeschiedenis pas vanaf een initiële grondwaterstand van NAP -160 cm, terwijl het in de modelsituatie zonder voorgeschiedenis al voldoet bij een initiële grondwaterstand van NAP -110 cm.

Voorbeeld 3: De weerstandswaarde wordt onder andere bepaald door de begroeiing in de watergangen. Bij minder begroeiing wordt een hogere waarde gekozen. De figuur laat zien hoe gevoelig de waterstand is voor de weerstandswaarde. Dit zegt dus iets over het verwachte effect van maaien. Een waterschap kan dit inzicht gebruiken in het kader van de Flora- en faunawet, waarin staat dat alleen onder strikte voorwaarden mag worden afgeweken van de bepaling om voor 15 juli te maaien.

Conclusie

Op basis van de toepassing van 'verkenkend modelleren' op de Noordelijke IJsselvallei, trekken we de volgende conclusies:

- De presentatie van onzekerheidsinformatie geeft waardevolle inzichten in de werking van het systeem onder verschillende aannames;
- 'Verkenkend modelleren' geeft een aanpak voor de vergelijking van verschillende typen onzekerheden. Uit de resultaten blijkt bijvoorbeeld dat de keuze voor een AHN-filtermethode voor sommige locaties meer bepalend is voor de wateropgave dan de keuze voor weerstand en initiële grondwaterstand;
- 'Verkenkend modelleren' geeft een aanpak om onzekerheden in modelresultaten te relateren aan het halen van een norm. Met de discussiekaarten is het bijvoorbeeld mogelijk om in te schatten of de keuze voor een bepaalde initiële grondwaterstand de beoordeling wel of niet beïnvloedt.

Ten slotte zijn de fel gekleurde discussiekaarten een sterk communicatiemiddel en een goed handvat voor discussies tussen hydrologen, bestuurders en andere betrokkenen over de wateropgave. Uitgangspunt is dat inzicht in onzekerheden een betere onderbouwing biedt voor de besluitvorming over maatregelen en zodoende investeringskosten rechtvaardigt.

Het bovenstaande geeft een eerste indruk van de mogelijkheden van 'verkenkend modelleren' voor besluitvorming. Mogelijkheden voor toekomstige toepassingen zijn onder andere:

- De discussiekaarten kunnen een rol spelen bij het vergelijken van het effect van maatregelen;
- De discussiekaarten zijn bruikbaar bij het vaststellen van uitgangspunten voor een modelstudie;
- 'Verkenkend modelleren' kan ingezet worden om de verhouding tussen systeemonzekerheden en klimaatonzekerheden te bepalen, en hiermee een discussie over klimaatgerelateerde maatregelen te ondersteunen.

LITERATUUR

- 1) Bankes S. (1993). Exploratory modeling for policy analysis. *Operations Research* nr 3, pag 435-449.
- 2) Ebskamp M. (2009). Exploratory modeling: A promising method for flood risk management? M.Sc-thesis, Faculteit Techniek, Bestuur en Management TU-Delft.
- 3) Waterschap Veluwe (2007). Stroomgebiedsuitwerkingsplan Noordelijke IJsselvallei.
- 4) Dahm R., A. Elffrink en S. Burgers (2009). Pragmatische gevoeligheids- en onzekerheidsanalyse in het regionale waterbeheer. *H₂O* nr. 11, pag. 39-42.
- 5) STOWA (2004). Statistiek van extreme neerslag in Nederland. Rapport 2004-26.