



Gé v/d Eertwegh, Waterschap Rivierenland

Joost Heijkers, Hoogheemraadschap de Stichtse Rijnlanden

Durk Klopstra, HKV lijn in water

Michelle Talsma, STOWA

Onzekere hydrologische modelresultaten: bedreigend of gewenste informatie?

Voor de beleidsontwikkeling, planvorming en uitvoering in het regionale waterbeheer vormen uitkomsten van hydrologische modellen een belangrijke bouwsteen. Hydrologische modellen, hoe geavanceerd ook, beschrijven de hydrologische systeemwerking op een vereenvoudigde manier. Mede hierdoor zijn modeluitkomsten onzeker. Het is belangrijk te weten hoe groot deze onzekerheden zijn en in welke mate ze van invloed zijn op de effectiviteit van maatregelen.

Hydrologen die werkzaam zijn in het regionale waterbeheer, zijn zich vaak bewust van de onzekerheden van de modelresultaten waarop bestuurders zich regelmatig baseren bij beslissingen over de inrichting van een gebied. Ook bestuurders zijn zich bewust van het belang van onzekerheden. Zo werd tijdens het symposium van de Nederlandse Hydrologische Vereniging van 25 november 2008 door watergraaf Glas van Waterschap De Dommel aangegeven dat hij als bestuurder graag kennis neemt van onzekerheden om de kans op een foutief besluit van zijn kant zo klein mogelijk te maken. Om bestuurders de kans te geven gebruik te maken van kennis van onzekerheden, is het voor hydrologen de kunst om de invloed van onzekerheden te vertalen naar voor bestuurders relevante informatie. Het gaat dan niet alleen om betrouwbaarheidsbanden rond resultaten van modelberekeningen, maar ook om de doorvertaling naar de effectiviteit van een maatregel. Voor dat laatste ontbreekt het gereedschap.

Met dat als achtergrond is een door STOWA gefinancierd onderzoek uitgevoerd³⁾, met als doelen het ontwikkelen van gereedschap voor hydrologen om bronnen van onzekerheden door te vertalen naar onzekerheidsbanden van modelresultaten én de effectiviteit van maatregelen, het toepassen van het gereedschap in een concrete casus en het doorvertalen van de onderzoeksresultaten naar voor hydrologen en bestuurders relevante informatie.

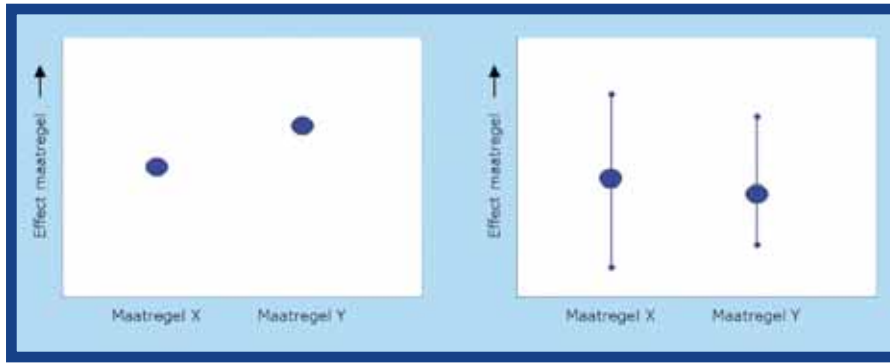
Relevantie informatie voor bestuurders

De in het Nederlandse waterbeheer gebruikelijke werkwijze om effecten van maatregelen met hydrologische modellen te bepalen, leidt in de onderzochte casus tot een overschatting van de effectiviteit van maatregelen met 33 tot 50 procent. De oorzaak hiervan is dat in de gebruikelijke werkwijze onzekerheden in modelresultaten niet worden doorvertaald naar de effectiviteit van maatregelen. Mede gezien de uiteenlopende gebiedseigenschappen van de onderzochte casus, mag worden verondersteld dat de hoofdlijn van deze conclusie voor andere gebieden in Nederland ook van toepassing is.

Wat hiervan de gevolgen kunnen zijn, is te zien in afbeelding 1. Deze illustreert dat de effectiviteit van een maatregel minder blijkt te zijn als gevolg van onzekerheden. De mate waarin de effectiviteit vermindert, is afhankelijk van het type maatregel. Zo is in de afbeelding volgens de gebruikelijke werkwijze (zonder onzekerheden) maatregel Y effectiever, terwijl na een probabilistische onzekerheidsanalyse maatregel X effectiever blijkt te zijn. In het voorbeeld is de onzekerheid in de effectiviteit van maatregel Y echter kleiner. Om die reden zou, afhankelijk van de bestuurlijke afweging, maatregel Y nog steeds het meest attractief kunnen zijn, ook omdat in dit voorbeeld de verwachte effectiviteit van maatregelen X en Y dicht bij elkaar liggen.

Naar aanleiding van een verzoek van de regering concludeerde de commissie Noodoverloopgebieden (commissie Luteijn) in 2002 dat de aanwijzing van noodoverloopgebieden langs de grote rivieren nuttig is voor de bescherming tegen overstromingen¹⁾. Parallel daaraan hebben Rijkswaterstaat en HKV lijn in water, aanvullend op de door de commissie gevolgde deterministische werkwijze, een probabilistische onzekerheidsanalyse naar de effectiviteit van noodoverloopgebieden uitgevoerd²⁾.

Een voorbeeld van een onzekerheidsbron is de verdeling van de afvoer over de splitsingspunten in de Rijn. Als deze anders verloopt dan voorzien, kan de effectiviteit van een noodoverloop sterk afnemen. Het water kan bijvoorbeeld benedenstrooms onvoorzien over de dijken stromen en de hoogwatergolf kan het bovenstrooms gelegen noodoverloopgebied al zijn gepasseerd. Door alle bronnen van onzekerheden mee te nemen in de analyse, onstond een somberder beeld van de (kosten)effectiviteit van noodoverloopgebieden. Dat heeft er mede toe geleid dat de voor de noodoverloopgebieden langs de Rijn gereserveerde middelen naar het budget voor 'Ruimte voor de Rivier' zijn overgeheveld.



Afb. 1: Verwachte effectiviteit van maatregelen op basis van de gebruikelijke werkwijze, waarin onzekerheden niet worden doorvertaald (links) en op basis van een probabilistische onzekerheidsanalyse, inclusief betrouwbaarheidsbanden (rechts)

Samengevat is de boodschap voor hydrologen en bestuurders in het regionale waterbeheer:

- De effectiviteit van inrichtingsmaatregelen in het regionale waterbeheer kan worden overschat als onzekerheden in hydrologische modelresultaten niet worden meegenomen in de analyse;
- De kwaliteit van de besluitvorming kan verbeteren als de effectiviteit van maatregelen inclusief de onzekerheid dienaangaande wordt bepaald;
- We hebben gereedschap ontwikkeld waarmee het voor hydrologen van waterbeheerders mogelijk wordt om onzekerheden in hydrologische modelresultaten door te vertalen naar een betere schatting van de effectiviteit van maatregelen, inclusief de betrouwbaarheidsbanden daar omheen. Dit gereedschap zal via STOWA begin dit jaar voor een ieder vrijelijk beschikbaar komen.

Technische toelichting

Het onderzoek heeft zich als eerste stap beperkt tot drie bronnen van onzekerheden: de schatting van de gebiedsneerslag, de gemeten afvoeren en grondwaterstanden waarop het model wordt gekalibreerd en een aantal gekalibreerde modelparameters.

Als casus is gebruik gemaakt van een Simgro-model van de Langbroekerwetering, een stroomgebied in het beheergebied van Hoogheemraadschap de Stichtse Rijnlanden. In het gebied komt zowel stedelijk als landelijk en pleistoceaan als holocene gebied voor. Simgro is een fysisch gebaseerde, ruimtelijk gedistribueerde hydrologische modelcode, die zowel de onverzadigde zone, het verzadigde grondwater als het oppervlaktewater beschrijft⁽⁴⁾.

Stap 1: deterministische kalibratie van hydrologisch model

Als eerste stap in het onderzoek is een deterministische kalibratie van het hydrologische model uitgevoerd. Met deterministisch wordt bedoeld dat geen onzekerheden in beschouwing zijn genomen. Dit is in het regionale waterbeheer veelal de gebruikelijke werkwijze. De kalibratie is geautomatiseerd uitgevoerd met behulp van een Simplex-algoritme van Nelder en Mead⁽⁵⁾. Hierin wordt op iteratieve wijze, op basis van vele modelruns, het beste kalibratieresultaat verkregen met inachtneming van grenswaarden van modelparameters op basis van

de gebiedseigenschappen. Het resultaat hiervan is de verwachtingswaarde van de kalibratieparameters van het model.

Stap 2: schatting onzekerheden

Als tweede stap is een schatting vooraf gemaakt van onzekerheden in de gebiedsneerslag, gemeten afvoeren en grondwaterstanden en gekalibreerde modelparameters. Deze schatting wordt in stap 3 gebruikt om het kalibratiealgoritme binnen vooraf ingeschatte grenzen de onzekerheden in de gebiedsneerslag, metingen en kalibratieparameters te minimaliseren. De schatting van de fout in de gebiedsneerslag⁽⁶⁾ is ook voor andere doeleinden toepasbaar en wordt om die reden hier kort beschreven.

Voor de gebiedsneerslag is uitgegaan van een schatting voor rastercellen van 2,5 x 2,5 km². Voor deze rastercellen wordt de verwachtingswaarde en de fout van de neerslag geschat op basis van waarnemingen van grondstations en neerslagradar. De fout in de geregistreerde neerslaghoeveelheden van de grondstations wordt grotendeels bepaald door invloed van de wind. Daarnaast zijn er nog verdampings-, bevochtigings- en waarnemingsfouten én fouten door het inspatten en uitspatten van regendruppels^(6,7,8).

Er zijn twee neerslagradars, te weten in De Bilt en Den Helder, waarvan de reflectiviteit wordt omgerekend naar een neerslaghoeveelheid. Radarbeelden zoals geleverd aan de waterschappen hebben een resolutie van 2,5 x 2,5 km² en vanaf 1 januari 2008 1 x 1 km². Voor het onderzoek is gebruik gemaakt van het gekalibreerde, op basis van de radar-

stations uit Den Helder en De Bilt samengestelde neerslagbeeld. Foutenbronnen van radargegevens hebben zowel betrekking op de onnauwkeurigheid in de apparatuur en de opstelling, als om fouten die ontstaan door verstoringen van buitenaf, zoals fouten bij de vertaling van het radarbeeld naar neerslaghoeveelheden^(7,8).

De belangrijkste fouten in de neerslaghoeveelheden op basis van de radarbeelden zijn de hoogte boven het aardoppervlak van de radarwaarnemingen (*overshooting* in afbeelding 2), verzwakking van het radarbeeld door neerslag (*attenuation*) en de variatie van het druppelgroottespectrum. Op basis van literatuurgegevens^(7,8,10,11) is een relatie gelegd tussen radarwaarnemingen en het gemiddelde en de standaarddeviatie van de gebiedsneerslag (zie afbeelding 3). De gevonden relaties blijken met een lineaire fit goed te worden benaderd.

Stap 3: kalibreren hydrologische model met onzekerheidsbronnen

In de derde stap worden op basis van een probabilistische kalibratie de verschillende onzekerheidsbronnen, die in stap 2 a-priori zijn ingeschat, geminimaliseerd. Om dit resultaat te verkrijgen is een Bayesiaans kalibratiealgoritme, te weten het BATEA algoritme zoals beschreven door Kavetski⁽⁹⁾, geïmplementeerd⁽³⁾.

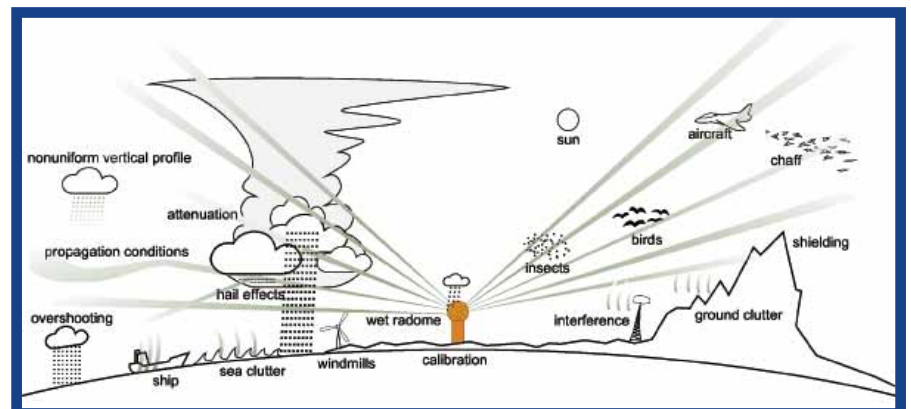
Stap 4: vaststellen geminimaliseerde onzekerheid in gebiedsneerslag en kalibratieparameters

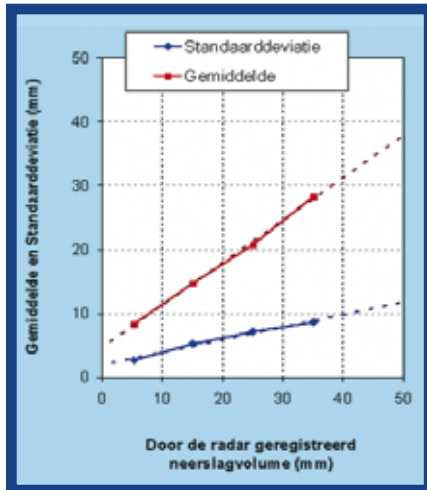
De resterende onzekerheid in de gebiedsneerslag na het kalibreren varieert met circa 15 procent ten opzichte van de gemeten waarde, met de meest waarschijnlijke waarde rond 0 procent. Het kalibratiealgoritme vindt een duidelijke voorkeur voor waarden van de kalibratieparameters. Desalniettemin resteert een spreiding van -30 tot +50 procent van de oorspronkelijk gevonden verwachtingswaarden op basis van de deterministische kalibratie.

Stap 5: vaststellen onzekerheid in de berekende afvoeren en grondwaterstanden

De onzekerheden in de berekende grondwaterstanden zijn voor de onderzochte casus als gevolg van de bodemopbouw, die veelal uit klei bestaat, verwaarloosbaar. De onzekerheidsmarge in de berekende piekafvoeren bedraagt ongeveer tien procent. Daarbij

Afb. 2: Overzicht van de belangrijkste foutenbronnen in neerslagradarbeelden^(7,8).





Afb. 3: Gemiddelde en standaarddeviatie van de kansverdeling van de neerslag als functie van de geregistreerde neerslag. De gestippelde lijn is de geschatte lineaire relatie.

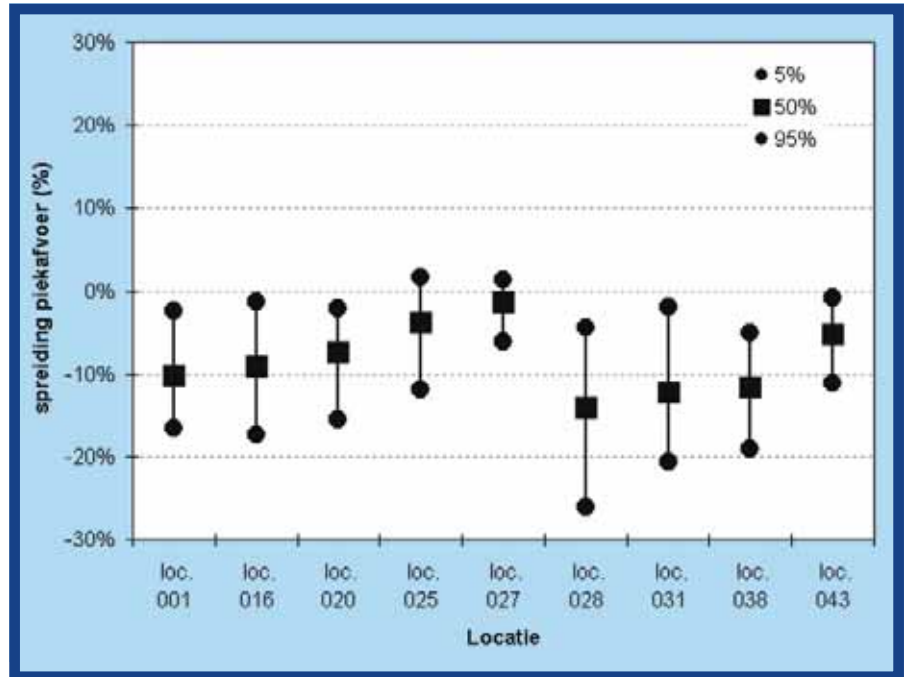
wordt opgemerkt dat als alle onzekerheidsbronnen zouden zijn meegenomen, de gevonden onzekerheidsmarges anders en waarschijnlijk groter zullen zijn.

Stap 6: vaststellen invloed onzekerheidsbronnen op de effectiviteit van maatregelen

In afbeelding 4 wordt voor een aantal locaties de invloed van de beschouwde onzekerheidsbronnen op de berekende maximale afvoeren na het treffen van een maatregel weergegeven. De weergegeven maatregel betreft het vasthouden van water in de haarvaten in natuurgebieden, die ongeveer de helft van het stroomgebied beslaan, door middel van stuwen.

Uit afbeelding 4 blijkt dat als gevolg van het vasthouden van water, de verwachtingswaarden van de maximale afvoeren afhankelijk van de locatie met vijf tot 15 procent afnemen, gemiddeld met zo'n acht procent. Als gevolg van onzekerheden kan het effect van de maatregel variëren van een geringe toename tot een afname van meer dan 25 procent. In het geval dat de onzekerheden niet meegenomen worden, nemen de verwachtingswaarden van de maximale afvoeren gemiddeld met zo'n twaalf procent af³⁾. Hieruit blijkt dat de verwachtingswaarde van het effect gemiddeld over alle locaties 33 procent lager is dan wordt gevonden op basis van het deterministisch gekalibreerde model. Voor de maatregel afvoeren geldt een gemiddeld 50 procent lagere effectiviteit (niet getoond, zie³⁾).

Medeneming van onzekerheden leidt in het uitgevoerde onderzoek tot een beduidend lagere geschatte effectiviteit van maatregelen en leidt ons inziens tot gewenste informatie voor hydrologen, beleidsontwikkeling, planvorming en uitvoering in het regionale waterbeheer.



Afb. 4: Berekende onzekerheid in effecten van maatregelen.

LITERATUUR

- 1) Commissie Noodoverloopgebieden (2002). Gecontroleerd overstromen. Advies van de Commissie Noodoverloopgebieden.
- 2) Stijnen J., M. Kok en M. Duits (2002). Onzekerheidsanalyse Hoogwaterbescherming Rijntakken. Onzekerheidsbronnen en gevolgen van maatregelen. HKV lijn in water. In opdracht van Rijkswaterstaat RIZA.
- 3) Klopstra D. en T. Botterhuis (2008). Hydrologische modelonzekerheid. De invloed van onzekere neerslag op hydrologische modeluitkomsten. HKV lijn in water. In opdracht van STOWA.
- 4) Van Walsum P., A. Veldhuizen, P. van Bakel, F. van der Bolt, P. Dik, P. Groenendijk, E. Querner en M. Smit (2004). SIMGRO 5.0.1. Theory and model implementation. Alterra. Rapport 913.1.
- 5) Press W., S. Teukolsky, W. Vetterling en B. Fannery (1992). Numerical recipes in Fortran 77, 2nd ed.. University Press Cambridge.
- 6) Versteeg R. (2007). Neerslagonzekerheid. Literatuuronderzoek naar de fout in de neerslag. HKV lijn in water. In opdracht van STOWA.
- 7) Holleman I. (2006). Bias adjustment of radar-based 3-hour precipitation accumulations. KNMI. Technical Report 290.
- 8) Michelson D., T. Einfalt, I. Holleman, U. Gjertsen, K. Friedrich, G. Haase, M. Lindskog en A. Jurczyk (2005). Weather radar data quality in Europe: Quality control and characterization. Technical Report EUR 21955. Europese Unie.
- 9) Kavetski D., S. Franks en G. Kuczera (2002). Confronting input uncertainty in environmental modelling. In 'Calibration of watershed models' van Q. Duan, H. Gupta, S. Sorooshian, A. Rousseau en R. Turcotte. AGU Water Science and Applications series jaargang 6, pag. 49-68.
- 10) Schuurmans J. en M. Bierkens (2007). Belang van betere neerslaginformatie voor hydrologen. H₂O nr. 12, pag. 27.
- 11) Uijlenhoet R., S. van der Wielen en A. Berne (2006). Uncertainties in rainfall retrievals from ground-based weather radar: overview, case study and simulation experiment. Hydrology and earth system sciences discussions.