



Roel Velner, Royal Haskoning, thans Waterschap Rivierenland
 Daniël Coenen, Waterschap Brabantse Delta
 Ben van der Wal, Royal Haskoning, thans Royal HaskoningDHV
 Han Vermue, Royal Haskoning, thans Royal HaskoningDHV

Vrij afwaterende deelgebieden toch modelleren met Sobek-RR?

De traditionele bouw en kalibratie van Sobek-RR-modellen geeft in sterk heterogene stroomgebieden vaak geen goed resultaat. Daarom is voor het stroomgebied van de Brandsche Vaart een nieuwe aanpak ontwikkeld, waarbij het aantal RR-knopen voor het onverharde gebied afhangt van gebiedseigenschappen. Door kennis uit een grondwatermodel te gebruiken en door een regionale drainageweerstand te berekenen, is het afvoerproces door het jaar heen goed te simuleren. Piekafvoeren blijven moeilijker te modelleren. Hiervoor is meer inzicht in de snelle afvoerprocessen noodzakelijk om het modelresultaat te verbeteren.

In april 2011 is tijdens een bijeenkomst bij Deltares¹⁾ getoond hoe het programma Sobek-RR²⁾ is toegepast om een neerslag-afvoemodel te ontwikkelen voor het vrij afwaterende stroomgebied van de Brandsche Vaart bij Etten-Leur³⁾. Dit artikel beschrijft de opzet en het eindresultaat van deze modelstudie. Het artikel gaat enkel in op de modellering van het onverharde gebied. Over het rekenconcept van Sobek-RR wordt wel eens gezegd dat het alleen in poldergebieden toegepast kan worden. Met dit artikel willen we demonstreren hoe Sobek-RR ook toegepast kan worden in heterogene, vrij afwaterende gebieden.

In het stroomgebied van de Brandsche Vaart treedt regelmatig wateroverlast op bij hoge afvoeren. Waterschap Brabantse Delta wil met het gebruik van modellen inzicht krijgen in het functioneren van het watersysteem bij piekafvoeren. Uit de studie blijkt welke delen van het gebied inrunderen en met welke herhalingstijd. Met behulp van normen voor regionale wateroverlast kan het waterschap bepalen of maatregelen gewenst zijn. In het verleden is al eens een Sobek-model van het stroomgebied van de Brandsche Vaart gemaakt⁴⁾. In dit model werd zowel de hoogte van de piekafvoer als de duur van een afvoergebeurtenis overschat. Daardoor werden de wateroverlast en benodigde maatregelen ook overschat. Dat brengt het risico op desinvesteringen met zich mee. In de recente studie is een verbeterd neerslag-afvoemodel voor de Brandsche Vaart ontwikkeld.

Beperkingen van traditionele aanpak

Bij het gebruik van Sobek-RR kiest de modelleur onder andere de hoeveelheid onverharde deelgebieden (*Unpaved* knopen) en hoe gebiedseigenschappen vertaald worden naar parameterwaarden. Traditioneel wordt het aantal onverharde deelgebieden beperkt gehouden, zodat het handmatig toekennen van parameterwaarden en het kalibreren van het model hanteerbaar blijft. Per afwateringseenheid wordt meestal één onverhard deelgebied gekozen. Per deelgebied moeten in Sobek-RR één maaiveldniveau en maximaal drie drainageniveaus worden opgegeven. Het stroomgebied van de Brandsche Vaart is in het verleden opgedeeld in 58 onverharde deelgebieden met oppervlaktes van 20 tot 100 hectare per stuk. De variatie in gebiedseigenschappen binnen die deelgebieden is daardoor echter groot. In het geval van de Brandsche Vaart komen bijvoorbeeld verschillen in maaiveldniveau van vijf tot acht meter binnen een deelgebied voor. Het toepassen van één gemiddeld maaiveldniveau per deelgebied kan dan vrijwel nooit representatief zijn. Omdat het niveau van drainagemiddelen het maaiveldverloop volgt en in een deel van de watergangen geregeld droogval optreedt, ontstaan gemiddelde drainageniveaus eveneens niet. Kortom, voor vrij afwaterende, heterogene stroomgebieden blijkt een modelschematisatie van één onverhard deelgebied per afwateringseenheid (van 20 tot 100 hectare) niet te voldoen. Voor bijvoorbeeld poldergebieden met uniforme

eigenschappen kan een schematisatie met één onverhard deelgebied per afwateringseenheid overigens wel volstaan.

Ontwikkelde modelopzet

De kern van de hier gepresenteerde alternatieve aanpak is om bij aanvang van een modellering het aantal onverharde deelgebieden af te laten hangen van de variatie in gebiedseigenschappen. Hoe meer variatie in gebiedseigenschappen, hoe meer onverharde deelgebieden in een RR-model worden opgenomen. Per onverhard deelgebied worden onder andere maaiveldhoogte, bodemtype en geohydrologische parameters toegekend. De geohydrologische parameters zijn in deze studie deels afgeleid uit een grondwatermodel met een resolutie van 100 bij 100 meter⁵⁾. Voor het stroomgebied Brandsche Vaart lijkt deze resolutie ook fijn genoeg om het maaiveldverloop, drainagepatroon en de bodemgegevens te schematiseren. Daarom is gekozen om het onverharde gebied ook te schematiseren met deelgebieden op een resolutie van 100 bij 100 meter. Per deelgebied is het gemiddelde maaiveldniveau afgeleid uit de Actuele Hoogtekaart Nederland en is het bodemtype afgelezen uit de bodemkaart. De voorgestelde aanpak leidt tot een neerslag-afvoemodel met 1914 onverharde deelgebieden (zie afbeelding 1). Dit is aanzienlijk meer dan de 58 deelgebieden in de traditionele aanpak. Dankzij het gebruik van een modelgenerator blijkt een dergelijke hoeveelheid toch goed hanteerbaar.

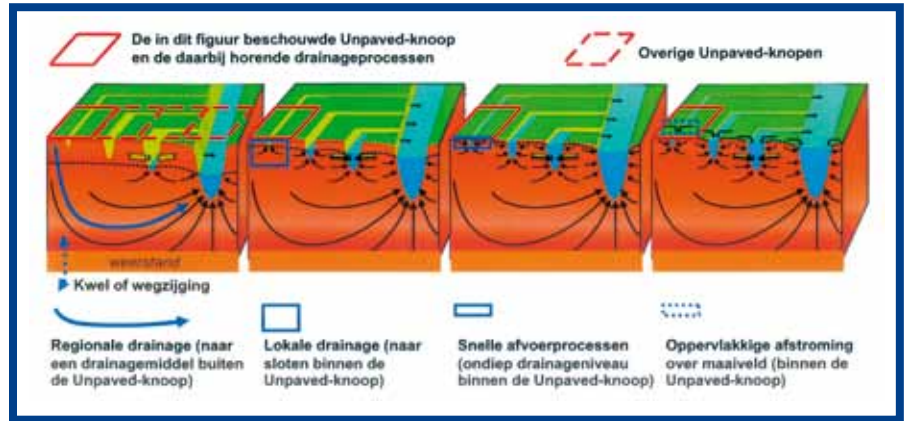
Modelkalibratie en -validatie

Na het opzetten van de schematisatie is het model gekalibreerd door te variëren met drainage niveaus, drainage weerstanden en neerslaggegevens. Vervolgens is het model gevalideerd. Het kalibratiejaar loopt van 1 juli 2000 tot 1 juli 2001. Het validatiejaar loopt van 1 juli 2001 tot 1 juli 2002. Vanwege de beperkte lengte van de beschikbare afvoermeteerreeks is dit de optimale keuze. Per onverhard deelgebied zijn de volgende drainageprocessen onderscheiden (zie afbeelding 2):

- Oppervlakkige afstroming bij grondwaterstanden boven maaiveld;
- Snelle afvoerprocessen, zoals afvoer via greppeltjes en preferente stroombanen, zijn als ondiep drainageniveau geschematiseerd;
- Lokale drainage, als gevolg van sloten en buisdrainage binnen een onverhard deelgebied, is als middeldiep drainageniveau opgenomen;
- Regionale drainage, als gevolg van hoofdwaterlopen buiten een onverhard deelgebied, is als een diep drainageniveau opgenomen;
- RR-parameters voor de interactie met het diepere grondwater (kwel of wegzijging) zijn bepaald op basis van het grondwatermodel.

Onder droge omstandigheden zijn snelle afvoerprocessen en oppervlakkige afstroming niet actief (linkerhelft van afbeelding 2). Bij hevige neerslag en stijgende grondwaterstanden gaan steeds meer onverharde deelgebieden via snelle routes afvoeren (rechterhelft van afbeelding 2). Ten opzichte van de traditionele aanpak levert het schematiseren op hoge resolutie ons inziens een betere beschrijving van het niet-lineaire afvoergedrag van een stroomgebied, omdat de toename van het areaal dat via snelle routes gaat afvoeren, ruimtelijk meer gedifferentieerd door het model berekend wordt. Door middel van kalibratie is het ondiepe drainageniveau vijf tot maximaal 60 centimeter onder maaiveld geplaatst en heeft het een uniforme drainage weerstand van één dag gekregen.

Afb. 1: Het ontwikkelde Sobek-RR-model met de onverharde deelgebieden op hoge resolutie.



Afb. 2: Toegepaste drainageprocessen, bewerkt naar Rozemeijer⁶⁾.

De lokale drainagemiddelen zijn voorzien van drainage diepten en weerstanden uit het grondwatermodel. Deze drainage weerstand is 75 tot 500 dagen. Hier is niet mee gekalibreerd. Het regionale drainageniveau vertegenwoordigt de drainerende invloed van de hoofdwaterlopen buiten het onverharde deelgebied op de grondwaterstanden daarbinnen. Hoe verder een onverhard deelgebied van de hoofdwaterlopen ligt, des te langzamer zal het grondwater naar de hoofdwaterloop afstromen en hoe groter de regionale drainage weerstand voor het betreffende deelgebied moet zijn. In deze studie laten we de regionale drainage weerstand toenemen met het kwadraat van de afstand tussen het betreffende deelgebied en de hoofdwaterloop. Dit is zo gekozen vanwege het kwadratische verband dat vaak in formules voor het berekenen van de drainage weerstand wordt gebruikt⁷⁾. Daarnaast is voor het berekenen van de regionale drainage weerstand ook informatie over het doorlaatvermogen van het topsysteem gebruikt uit de Landelijke Karakterisatie van het Topsysteem⁸⁾. De weerstand van het regionale drainageniveau is zo bepaald op waarden van 50 tot groter dan 100.000 dagen (zie afbeelding 3). De berekening van deze regionale drainage weerstanden in combinatie met een hoge resolutie aan onverharde deelgebieden is het kenmerk van de hier gepresenteerde alternatieve aanpak voor heterogene stroomgebieden.

Uit de studie met het grondwatermodel voor dit stroomgebied blijkt grondwater weg te zijgen naar de diepere ondergrond. Deze wegzijging is geschematiseerd door een weerstandbiedende laag en vaste stijghoogte in het onderliggend watervoerend pakket in te geven als onderrand in Sobek-RR. Dankzij deze schematisatie treedt bij hoge (winter)grondwaterstanden meer wegzijging op dan bij lage (zomer) grondwaterstanden. Dit geeft een realistischer resultaat dan het opleggen van een constante wegzijging door het jaar heen.

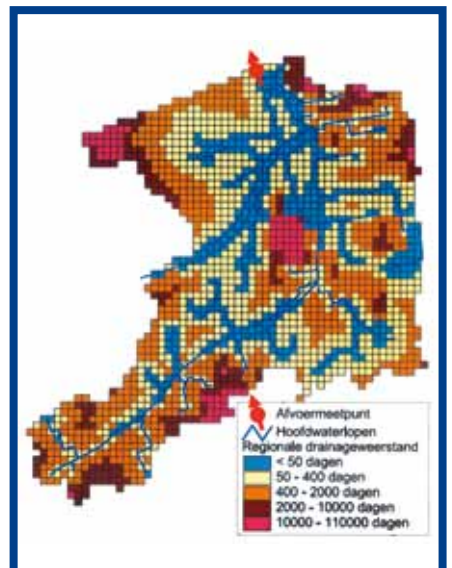
Naast de gebruikelijke kalibratie op basis van drainage weerstanden is in deze studie eveneens gekalibreerd met de neerslaggegevens. Aanvankelijk was de neerslag gebruikt uit een beschikbare dataset van radarneerslag⁹⁾. Deze set bevat geen neerslag voor uren waarop geen radar-

registratie beschikbaar is, bijvoorbeeld als gevolg van uitval van de radar of het ontbreken van archivering van de ruwe data (vooral in de eerste jaren van de dataset). Een andere reden voor ontbrekende informatie is de bewerking van de ruwe radardata. Deze bewerking is uitgevoerd met als doel informatie te krijgen over extreme neerslagen. Om aan dit doel te voldoen, zijn de ruwe radardata met strenge kwaliteitscriteria bewerkt tot radarneerslaginformatie. Voor uren waarin de ruwe data niet voldoet aan de criteria, wordt geen radarneerslaginformatie in de dataset opgenomen. Gebleken is dat de waterbalans over de kalibratie- en validatiejaren hierdoor niet naar volle tevredenheid in beeld te brengen was met de radardataset. Er is daarom gebruik gemaakt van dagneerslagen van het dichtstbijzijnde KNMI-station Oudenbosch, die met behulp van het neerslagpatroon van KNMI-station Gilze-Rijen zijn omgezet naar uurlijkse waarden. De radarneerslaggegevens zijn gericht aangevuld met deze grondstationgegevens¹⁰⁾.

Bespreking van de resultaten

Afbeelding 4 toont de resultaten van de kalibratie- (links) en de validatieberekeningen (rechts). Van boven naar beneden zijn in de figuur te zien: tijdreeksen van

Afb. 3: Ruimtelijke verdeling van gekozen regionale drainage weerstand.



gemeten en berekende dagafvoer, het cumulatieve afvoerverloop over het jaar en een spreidingsgrafiek waarin de gemeten en berekende dagafvoeren tegen elkaar zijn uitgezet. De grafieken met tijdreeksen tonen dat het verloop van de afvoer over het jaar heel behoorlijk wordt berekend. De kalibratie en validatie scores acceptabel met een Nash-Sutcliffe coëfficiënt van respectievelijk 0,69 en 0,72. Bij een coëfficiënt van 0 of negatief scoort een model zeer slecht. De coëfficiënt is maximaal 1, dan scoort een model erg goed. Bij voorkeur scores modellen coëfficiënten van 0,8 of hoger. Dat wordt hier nog niet gehaald vanwege afwijkingen bij berekeningen van piekafvoeren. Het uitzakken van de afvoer na een natte periode volgt de metingen goed. Het cumulatieve verloop van de afvoer volgt de metingen naar behoren, hoewel voor het validatiejaar de totaalsom aan afvoer achterblijft bij de metingen. De berekening van piekafvoeren laat een wisselvalliger beeld zien. Een deel van de pieken wordt goed berekend. Uit de spreidingsgrafiek is af te leiden dat de piekafvoeren vaker worden onderschat dan overschat.

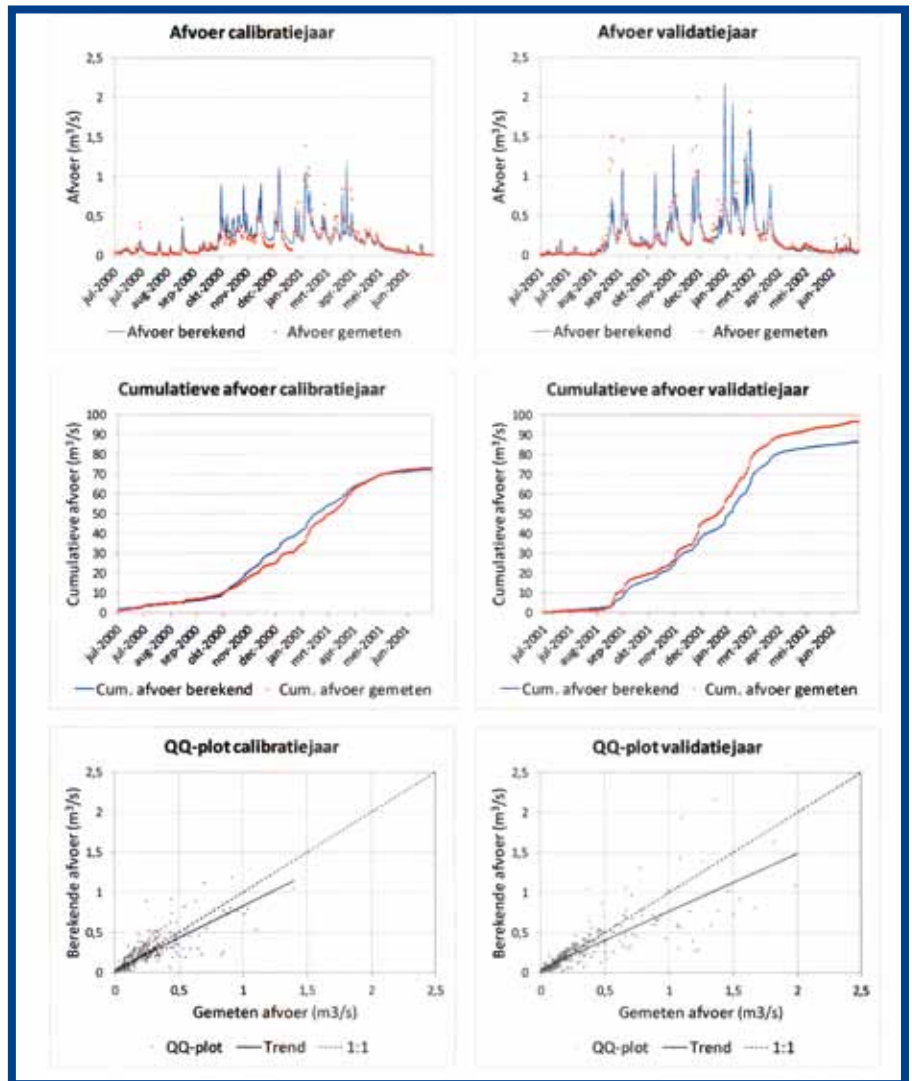
Discussie

Het nieuwe model onderschat piekafvoeren. Op basis van inhoudelijke argumenten bestaat dus aanleiding om te zoeken naar verbeteringen om zo de voorspellingen die met het model gedaan worden, te verbeteren. Het nieuwe model is voor het project echter goed genoeg bevonden om er inundatiefrequenties mee te bepalen. Deze keuze is gemaakt op basis van project-planning en kosten.

Wat het doel van de studie betreft is verbetering van de simulatie van piekafvoeren het meest gewenst. Deze piekafvoeren worden in RR grotendeels berekend met behulp van het ondiepe drainageniveau, de oppervlakkige afstroming en het stedelijk deelgebied. Bij verbetering van de berekende piekafvoeren zal de nadruk moeten liggen op het verbeteren van de modellering van deze processen. Daarnaast kan als alternatief voor de hier gepresenteerde regionale drainageweerstand, nagedacht worden over het onderling koppelen van de onverharde deelgebieden¹¹⁾. Dit is echter geen standaard RR-functionaliteit. Deze oplossing bevindt zich nog in onderzoeksfase.

Conclusies

- Voor sterk heterogene stroomgebieden is er een bovengrens aan de grootte van het oppervlak per onverhard deelgebied. Het gebruik van één zo'n deelgebied per afwateringseenheid van 20 tot 100 hectare geeft vaak geen goede simulatie van de afvoer;
- De combinatie van een hoge resolutie aan onverharde deelgebieden en het berekenen van de regionale drainageweerstand geeft een goede simulatie van de jaarcumulatie en het uitzakken van de afvoer na een natte periode;
- De simulatie van piekafvoeren laat een grilliger beeld zien. Meer inzicht in de snelle afvoerprocessen is noodzakelijk om het modelresultaat te verbeteren;



Afb. 4: Resultaten van modelkalibratie (links) en -validatie (rechts).

- Het gebruik van een stijghoogte en weerstand op de onderrand heeft meerwaarde ten opzichte van het gebruik van een vaste flux.

Aanbevelingen

- Verbeter de simulatie van piekafvoeren door de schematisatie en parameterwaarden voor oppervlakkige afstroming, de snelle afvoerprocessen en het stedelijk deelgebied te verbeteren;
- Gebruik kennis uit gecalibreerde grondwatermodellen om een in de tijd variërende diepe stijghoogte in het RR-model te brengen;
- Gebruik radarneerslaggegevens als basis voor modelstudies. Controleer of de radarneerslag voldoet om de waterbalans van modelberekeningen voldoende sluitend te maken.

LITERATUUR

- 1) Velner R. (2011). Gedistribueerd rekenen na synchronisatie van Sobek-RR met grondwatermodel. Presentatie op workshop Neerslag-afvoermmodellering op 28 april bij Deltares.
- 2) Prinsen G., H. Hakvoort en R. Dahm (2009). Neerslag-afvoermmodellering met Sobek-RR. Stroomingen nr. 4.
- 3) Folmer I. en R. Velner (2012). Wateroverlast buitengebied Etten-Leur. Knelpuntenanalyse

- en maatregelen. In opdracht van Waterschap Brabantse Delta. Royal Haskoning.
- 4) Jorna F., R. Velner en M. Gijsbers (2008). Integrale gebiedsanalyse Kibbelvaart - Brandsche Vaart. In opdracht van Waterschap Brabantse Delta. Royal Haskoning.
- 5) Van der Wal B. (2008). Ontwikkeling van het grondwatermodel voor de Integrale Gebiedsanalyse Kibbelvaart. In opdracht van Waterschap Brabantse Delta. Royal Haskoning.
- 6) Rozemeijer J. (2010). Dynamics in groundwater and surface water quality. From field-scale processes to catchment-scale monitoring. Proefschrift Universiteit Utrecht.
- 7) Van Drecht G. (1983). Berekening van de stationaire grondwaterstroming naar sloten. RID. Mededeling 83-3.
- 8) Weerts H. en W. van der Linden (2002). Landelijke karakterisatie topsysteem. Op basis van DINO-boorgegevens. TNO-NITG.
- 9) Overeem A. (2009). Climatology of extreme rainfall from rain gauges and weather radar. Thesis Wageningen Universiteit.
- 10) Verkooijen B. (2011). Hydrological analysis using a long-term high-quality radar rainfall dataset for the Netherlands. Report of practical period at Royal Haskoning. Wageningen Universiteit.
- 11) Coonen M. (2012) The Response of SOBEK-RR Model Performance to the Extension with Groundwater Links. Colloquium Wageningen Universiteit, Deltares en Waterschap Noorderzijlvest.