



Wateroverlast, zo goed als zeker

IR. B. DE GRAAFF, HKV LIJN IN WATER

IR. R. VERSTEEG, HKV LIJN IN WATER

De wateroverlast in de afgelopen paar jaar heeft de waterbeheerders in Nederland geconfronteerd met de vraag in welke mate hun watersysteem bescherming biedt tegen wateroverlast. Aan welke situaties kunnen zij het hoofd bieden en aan welke niet? Het gaat hierbij specifiek om wateroverlast door verhoogde grondwaterstanden en water op het land door andere oorzaken dan het bezwijken van waterkeringen. Voor het bepalen van het gewenste beschermingsniveau is voor de Commissie Waterbeheer 21e eeuw een leidraad ontwikkeld voor de hoogwaternormering van regionale watersystemen.

Centraal in de beschouwing van het huidige en het gewenste niveau zijn overschrijdingsfrequenties van waterstanden. Voor het bepalen van deze frequenties zijn drie methoden beschikbaar: de tijdreeksmethode en de stochastenmethode- en de directe bepaling uit gemeten waterstanden (zie afbeelding 1). Deze methoden zijn vergeleken en de geschiktheid voor het bepalen van waterstanden en overschrijdingsfrequenties in extreme situaties is onderzocht. Hieruit blijkt dat de stochastenmethode het meest geschikt is voor het bepalen van frequenties van wateroverlast.

De tijdreeksmethode maakt gebruik van een model van het watersysteem. De invoer van het model bestaat uit een langjarige reeks invoergegevens als neerslag en verdamping. De overschrijdingsfrequenties van waterstanden worden met eenvoudige statistische technieken bepaald uit de resultaten van de modelberekeningen. Voor een reeks van 30 jaar geeft de methode overschrijdingsfrequenties tot eens per 30 jaar. Voor het bepalen van oppervlaktewaterstanden die minder vaak voorkomen (bijvoorbeeld eens per 50 of 100 jaar) worden de resultaten van de simulatie geëxtrapoleerd.

De stochastenmethode maakt eveneens gebruik van een model. In de methode wordt de statistische analyse echter niet uitgevoerd op de berekende waterstanden, maar op de invoer van het model. Voor het watersysteem worden factoren gedefinieerd die kunnen leiden tot hoge waterstanden. De factoren worden gecombineerd tot gebeurtenissen. Uit de modeluitkomsten van de gebeurtenissen en de frequenties van de gebeurtenissen worden

overschrijdingsfrequenties van waterstanden bepaald. De stochastenmethode is vergelijkbaar met de methode die door de Technische Adviescommissie voor Waterkeringen (TAW) is ontwikkeld voor de bepaling van de veiligheid van waterkeringen.

De overschrijdingsfrequenties van waterstanden kunnen ook direct worden bepaald uit gemeten waterstanden. De resultaten van de

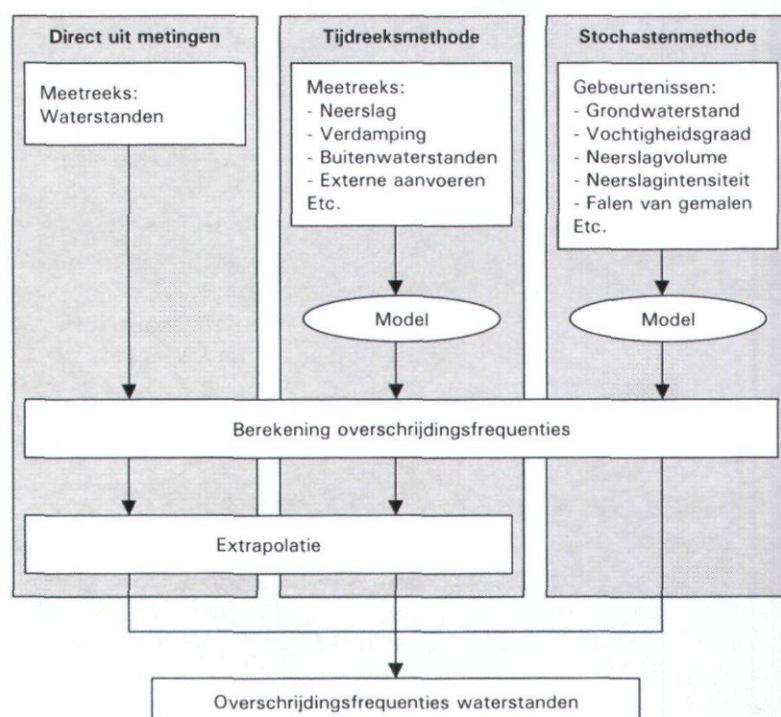
methode worden geëxtrapoleerd om tot lagere overschrijdingsfrequenties te komen dan de meetreeks in eerste instantie toelaat. De methode heeft een aantal grote nadelen. In gemeten waterstanden zijn vaak veranderingen van het systeem verwerkt, waardoor metingen niet meer representatief zijn voor het huidige watersysteem. Daarnaast kunnen effecten van maatregelen en toekomstscenario's niet worden bepaald doordat de methode geen gebruik maakt van een model. Het is dus niet mogelijk om de invloed van een klimaatscenario op het watersysteem te evalueren.

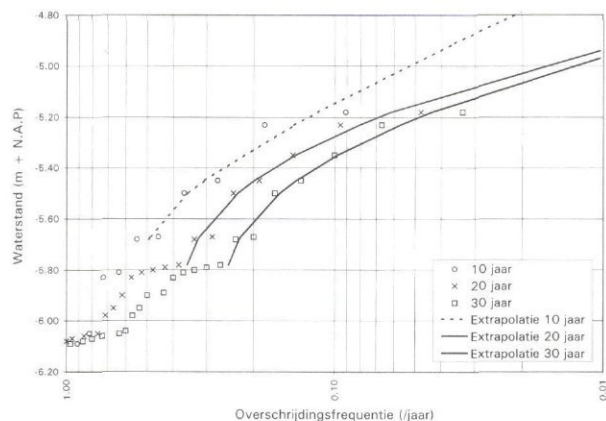
Polder als model

De toepassingsmogelijkheden van de directe bepaling uit gemeten waterstanden zijn dusdanig beperkt dat gekozen is om het onderzoek te concentreren op de tijdreeksmethode en de stochastenmethode. Om die methoden te kunnen vergelijken zijn ze toegepast op identieke modellen van een polder, een goed gedraineerde kleipolder met een bemalingscapaciteit van 11.4 mm per dag. Het gemiddelde maaiveldniveau in de polder bedraagt 4 meter 80 beneden NAP. De drainagemiddelen bevinden zich één meter onder het maaiveld. De polder is gemodelleerd in het modelinstrumentarium Aquarius.

Voor de tijdreeksmethode zijn met het model simulaties uitgevoerd voor een reeks van 30 jaar neerslag- en verdampinggegevens (1969-1998). Om inzicht te krijgen in de

Afb. 1: Methodieken voor het bepalen van faalkansen van watersystemen.





Afb. 2: Resultaten van de tijdreeksmethode.

invloed van de lengte van de meetreeks is de methode toegepast voor de laatste 10 jaar, 20 jaar en voor de volledige reeks van 30 jaar. Daarnaast is voor de reeks van 30 jaar een onzekerheidsanalyse uitgevoerd. De resultaten van de tijdreeksmethode zijn geëxtrapoleerd tot een overschrijdingsfrequentie van 0.001 per jaar.

Voor de stochastenmethode zijn vier factoren bepaald die kunnen leiden tot wateroverlast: het neerslagvolume, de neerslagintensiteit, de voorgeschiedenis van de bodem en het falen van gemalen. De factoren zijn gemodelleerd en gecombineerd tot gebeurtenissen. De gebeurtenissen zijn in het model doorgerkend.

Resultaten tijdreeksmethode

De resultaten van de tijdreeksmethode zijn weergegeven in afbeelding 2. De extrapolatie is uitgevoerd voor waterstanden boven het niveau van de drainagemiddelen. Het gedrag van het watersysteem onder en boven dit niveau wordt namelijk door verschillende processen veroorzaakt. Dit blijkt uit een knik in de afbeelding rondom het niveau van de drainagemiddelen (NAP -5.80 m). De extrapolatie is uitgevoerd met de Weibull-kansverdeling.

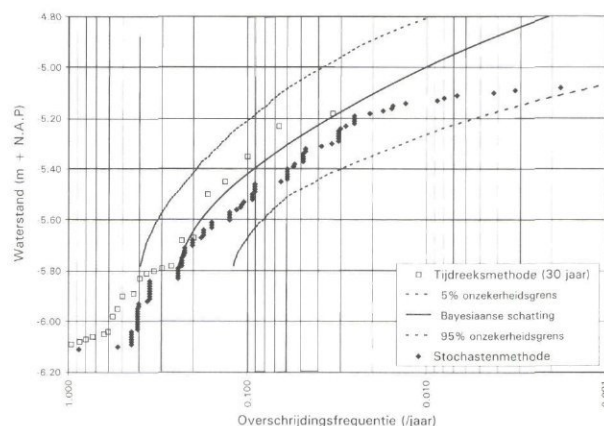
Uit de afbeelding blijkt dat de lengte van de meetreeks een grote invloed uitoefent op de uitkomsten van de methode. De verschillen tussen de reeksen van 20 jaar en 30 jaar zijn nog dermate groot dat verwacht kan worden dat de overschrijdingsfrequenties van waterstanden van de 30 jaar reeks nog significant zullen veranderen als de meetreeks wordt verlengd. De grote betekenis van de lengte van de meetreeks blijkt tevens uit een nadere beschouwing van de maximale waterstanden: in 1998, het laatste jaar van de reeksen, zijn vier van de acht grootste maxima opgetreden.

De resultaten van de onzekerheidsanalyse zijn gegeven in afbeelding 3. De parameters van de Weibull-kansverdeling en zijn onzekerheidsband zijn geschat met Bayesiaanse statistiek. Deze methode is uitermate geschikt voor het representeren van zowel inherente onzekerheid (fluctuatie in de tijd) als statistische onzekerheid (gebrek aan gegevens). Uit de afbeelding blijkt dat de statistische onzekerheid in de berekende overschrijdingsfrequenties groot is. Een waterstand van 5 meter 40 beneden NAP wordt bijvoorbeeld met 90 procent zekerheid tussen de eens per 10 jaar en ongeveer eens per 200 jaar overschreden. De onzekerheid wordt veroorzaakt door de beperkte lengte van de meetreeks en de verschillende systeemeigenschappen boven en onder de drainagemiddelen. Hierdoor zijn slechts acht gebeurtenissen beschikbaar voor de extrapolatie.

Modellering stochasten

De neerslaggebeurtenissen en hun frequenties zijn bepaald door een statistische analyse van neerslagvolumes en intensiteiten uit een meetreeks van 30 jaar. De gebeurtenissen worden gekenmerkt door een verloop van de neerslagintensiteit gedurende een periode van negen dagen. Uit onderzoek is gebleken dat zo'n periode geschikt is voor het weergeven van wateroverlast in polders en polderboezemsystemen. De intensiteit binnen de periode is zodanig gevarieerd dat de neerslagpatronen geschikt zijn voor zowel snel als traag reagerende systemen.

De faalkansen van de gemalen in de polder zijn bepaald uit gegevens over het functioneren van 70 poldergemalen gedurende de afgelopen 10 jaar. Onder het falen van een gemaal wordt verstaan het niet functioneren van een gemaal door andere oorzaken dan een opgelegde afvoerstop, beschikbare verval of beperkte ontwerpcapaciteit.



Afb. 3: Resultaten van de tijdreeksmethode versus de Stochastenmethode.

De voorgeschiedenis van de bodem wordt gekenmerkt door de grondwaterstand en de vochtigheidsgraad. De correlatie tussen de grondwaterstand en de vochtigheidsgraad en de kansen op bepaalde combinaties van deze variabelen zijn bepaald uit een 30 jarige simulatie met het model van de polder. Hierbij is impliciet aangenomen dat de kans op voorkomen van een begintoestand van de bodem over 30 jaar representatief is voor veel langere perioden. Ter verificatie van de geldigheid van de aanname is de begintoestand volgend uit de 30-jarige simulatie vergeleken met de begintoestand volgend uit een 20-jarige simulatie. De verschillen bleken dusdanig klein dat aangenomen kan worden dat de reeks van 30 jaar representatief is voor veel langere perioden dan 30 jaar.

Resultaten stochastenmethode

De resultaten van de stochastenmethode zijn gegeven in afbeelding 3. De overschrijdingsfrequenties van waterstanden worden in sterke mate bepaald door de voorgeschiedenis in de bodem en de neerslag. Bij een voorgeschiedenis waarin de bodem nog veel water kan opnemen komen pas bij grote neerslagvolumes (190 mm in negen dagen) overschrijdingen van het streefpeil voor. Bij een zeer natte voorgeschiedenis treden peiloverschrijdingen al op bij relatief kleine neerslagvolumes (60 mm in negen dagen). Uit een analyse blijkt tevens dat neerslag met een hoge intensiteit significant hogere waterstanden oplevert dan meer gespreide neerslag. In het extreme bereik (meer dan 5 meter 20 beneden NAP) is de intensiteit van de bui niet meer van belang voor de hoogte van peiloverschrijdingen. Het volume is bepalend.

Het falen van gemalen heeft geen zichtbare invloed op overschrijdingsfrequenties in het bereik van afbeelding 3. Het falen van gemalen heeft vooral gevolgen voor overschrij-

dingsfrequenties kleiner dan 0.0005 per jaar. De polder wordt bemalen door vier gemalen. Bij het falen van één gemaal is vaak voldoende capaciteit beschikbaar bij de resterende gemalen. Bovendien is de kans op het falen van één of meerdere gemalen klein.

Overschrijdingsfrequenties in extreme situaties

De extrapolatie van de tijdreeksmethode wordt uitgevoerd zonder kennis van het systeemgedrag in extreme situaties. De methode is hierdoor ongeschikt voor het bepalen van frequenties van wateroverlast. Watersystemen gedragen zich tijdens wateroverlast-situaties namelijk over het algemeen anders dan 'normaal'.

De stochastenmethode houdt wel rekening met het systeemgedrag in extreme situaties. De extrapolatie wordt uitgevoerd op de invoer van het model. De resulterende extreme gebeurtenissen worden in het model doorgerekend. Door in het model rekening te houden met systeemeigenschappen in overlastsituaties kunnen deze in de methode worden opgenomen.

Het voorgaande wordt geïllustreerd aan de hand van afbeelding 3. Uit deze afbeelding blijkt dat de methoden verschillende uitkomsten leveren in extreme situaties. De stochastenmethode vertoont voor lage overschrijdingsfrequenties een minder hellend verloop. Dit wordt veroorzaakt doordat bij een stijgende waterstand in het oppervlaktewater de toestroming van grondwater uit de bodem vermindert. De drijvende kracht achter de toestroming van grondwater is namelijk het verschil tussen de grondwaterstand en de oppervlaktewaterstand. De tijdreeksmethode houdt met deze systeemeigenschap geen rekening. Voor de extrapolatie wordt geen gebruik gemaakt van een model. Een kansverdeling wordt gefit op historische gebeurtenissen. Met de kansverdeling worden de overschrijdingsfrequenties van waterstanden geëxtrapoleerd. In de extrapolatie wordt alleen het systeemgedrag beschreven dat is opgetreden tijdens de genoemde historische gebeurtenissen. De tijdreeksmethode vertoont hierdoor een meer stijgend verloop.

Inzicht in faalmechanismen

De stochastenmethode verschaft meer inzicht in faalmechanismen doordat alle relevante faalgebeurtenissen in de methode kunnen worden opgenomen en doordat specifieke faalmechanismen onderzocht kunnen worden. Het inzicht in faalmechanismen met de tijdreeksmethode wordt beperkt door het aanbod aan faalgebeurtenissen in de meetreeks van de methode. Zo kan het voorkomen

dat het effect van het falen van gemalen niet gekwantificeerd kan worden doordat het faalmechanisme niet in de meetreeks voorkomt.

Daarnaast is van alle gebeurtenissen in de stochastenmethode de samenstelling bekend. Hierdoor kan uit de relatie tussen de gebeurtenissen, waterstanden en frequenties eenvoudig worden vastgesteld welke factoren maatgevend zijn voor het optreden van wateroverlast-situaties. In de tijdreeksmethode is de samenstelling van de tot wateroverlast leidende gebeurtenissen niet expliciet bekend. Het is mogelijk deze uit de modelinvoer en de simulatieresultaten te bepalen, maar dit vergt een extra inspanning.

Behoefte aan gegevens

Voor zowel de stochastenmethode als de tijdreeksmethode zijn langjarige meetreeksen van invoergegevens nodig. De tijdreeksmethode gebruikt de gegevens voor een simulatie waaruit de overschrijdingsfrequenties van waterstanden worden bepaald. De stochastenmethode gebruikt de gegevens voor een simulatie waaruit de berging in het systeem aan het begin van een gebeurtenis wordt bepaald. Uit de simulatieresultaten wordt bijvoorbeeld de voorgeschiedenis van de bodem bepaald.

Voor de stochastenmethode zijn daarnaast gegevens nodig voor het beschrijven van de overige stochasten. Sommigen behoeven slechts eenmalig te worden gemodelleerd. Dit geldt bijvoorbeeld voor het falen van gemalen en neerslaggebeurtenissen. Andere worden uit meetreeksen gedefinieerd of worden geleverd door specialistische instituten zoals het RIKZ, RIZA of het KNMI.

Klimaatscenario

De invloed van klimaatscenario's kan in de stochastenmethode eenvoudig worden verwerkt door het aanpassen van kansen op neerslagpatronen. Een patroon dat in de huidige situatie eens per jaar voorkomt, komt bij een temperatuurstijging bijvoorbeeld twee keer per jaar voor. Alleen de kansen op de gebeurtenissen veranderen. De modelsimulaties hoeven niet nogmaals uitgevoerd te worden. Voor de tijdreeksmethode is de procedure bewerklijker. De gehele neerslagreeks

dient te worden aangepast, berekeningen moeten nogmaals worden uitgevoerd, gevolgd door een extrapolatie.

Evaluatie onderzoeksresultaten

In tabel 1 is een samenvatting gegeven van de onderzoeksresultaten. De tijdreeksmethode en de stochastenmethode zijn kwalitatief beoordeeld op vier criteria. Belangrijk voor het blootleggen van zwakke plekken in een watersysteem zijn de eerste twee criteria. De methode moet overschrijdingsfrequenties in overlastsituaties goed kunnen bepalen en moet een helder inzicht geven in faalmechanismen. De stochastenmethode scoort op beide criteria beter dan de tijdreeksmethode.

Voor de stochastenmethode zijn naast de gegevens die nodig zijn voor de tijdreeksmethode extra gegevens nodig voor het modelleren van stochasten. De tijdreeksmethode scoort hierdoor beter op het derde criterium: de gegevensbehoefte.

Het laatste criterium is vooral van belang voor het inrichten van een watersysteem voor de toekomst. Het criterium geeft aan of de invloed van een klimaatscenario met de methode eenvoudig kan worden bepaald. De stochastenmethode scoort op dit punt beter dan de tijdreeksmethode. Met de stochastenmethode kan het effect van een klimaatverandering eenvoudig worden bepaald. Deze eigenschap van de methode kan goed gebruikt worden bij het normeren van watersystemen voor de 21e eeuw.

LITERATUUR

HKV (1999). Overschrijdingskansen van waterstanden in het Noordzeekanaal, Amsterdam-Rijnkanaal, en de boezem en polders van HAGV. Hoofdrapport. Project 119.10.
HKV (2000). Hoogwaternormering regionale watersystemen. Commissie Waterbeheer 21e eeuw.
Chhab E., J. van Noortwijk en M. Duits (2000). Bayesian frequency analysis of extreme river discharges. International Symposium on Flood Defence in Kassel.

Tabel 1: Vergelijking van de methodieken.

criteria	tijdreeksmethode	stochastenmethode
berekening overschrijdingsfrequenties	-	+
inzicht in faalmechanismen	-	+
gegevensbehoefte	+	-
toepassingsmogelijkheden klimaatscenario	-	+