
Verantwoord omgaan met de nieuwe neerslagstatistiek

Siebe Bosch
Hans Hakvoort
Ferdinand Diermanse
Coen Verhoeve

Inleiding

Eind 2004 publiceerde STOWA de nieuwe neerslagstatistiek voor waterbeheerders (KNMI en HKV, 2004). In dit document werden belangrijke statistische kengetallen voor neerslag in Nederland op een rij gezet, met inbegrip van de neerslagextremen van de jaren tachtig en negentig, want daaraan ontbrak het in voorgaande statistische interpretaties (o.a. Buishand en Velds, 1980). Daarnaast voorziet het document in een analyse van de patronen volgens welke neerslag kan vallen. De publicatie vormt daarmee een veel geraadpleegde gegevensbron bij studies naar wateroverlast. Een van de toepassingsgebieden is de *stochastenmethode*; een hydrologische werkwijze om neerslagextremen te vertalen naar overschrijdingskansen van waterstanden ten behoeve van onder andere het toetsen van regionale watersystemen aan de in het Nationaal Bestuursakkoord Water (NBW) beschreven werknormen.

Nu zijn er in het Nederlandse waterbeheer grofweg drie methodes in gebruik voor het berekenen van dergelijke overschrijdingskansen:

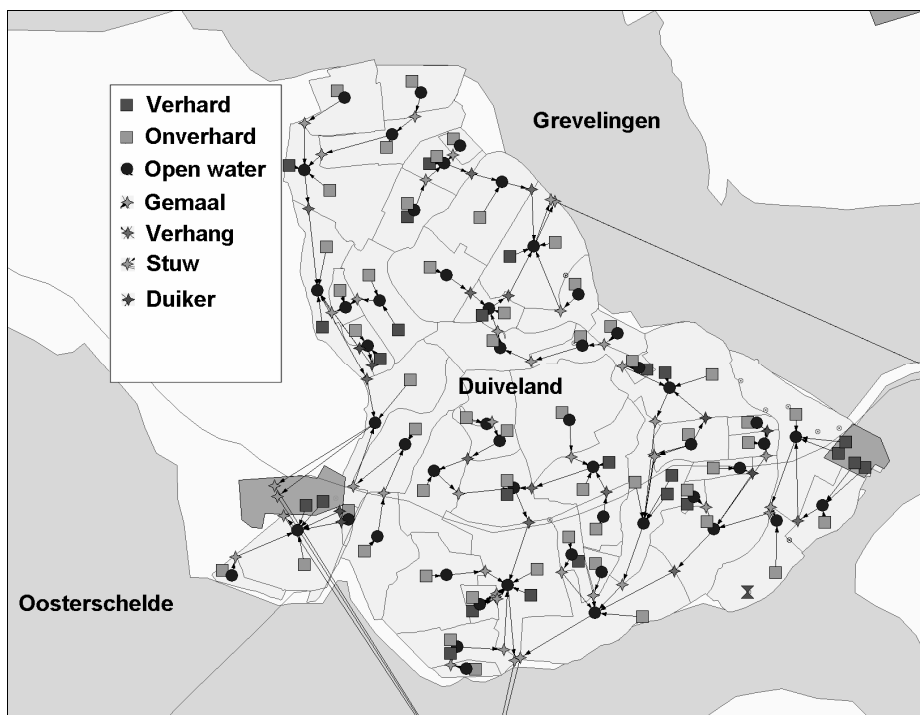
- **De ontwerpbui:** Een (synthetische) neerslaggebeurtenis met een zekere herhalingsperiode wordt afgeleid uit gemeten neerslagreeksen en vervolgens doorgerekend in een hydrologisch (en eventueel gekoppeld hydraulisch) model. Van de piekafvoer of –waterstand die uit de simulatie voortkomt wordt vervolgens aangenomen dat diens overschrijdingskans gelijk is aan die van de ontwerpbui. Deze werkwijze heeft o.a. als nadeel dat het relatief lastig is om de initiële grondwaterstand die aan het hydrologisch model dient te worden toegekend mee te nemen in de statistische analyse van het afvoer- en waterstandsverloop om uiteindelijk de faalkans vast te stellen. Althans, daar is geen standaardprotocol voor.
- **De stochastenmethode:** Een groot aantal hydrologische gebeurtenissen met elk een bepaalde frequentie van vóórkomen wordt gesynthetiseerd. De gebeurtenissen bestaan uit combinaties van doorgaans onafhankelijk veronderstelde stochasten, zoals neerslagvolume, neerslagpatroon en initiële grondwaterstand. Middels een hydrologische simu-

Siebe Bosch, Hans Hakvoort en Ferdinand Diermanse zijn werkzaam bij WL | Delft Hydraulics, Delft. Coen Verhoeve is werkzaam bij Waterschap Zeeuwse Eilanden, Middelburg.

latie wordt voor elke gebeurtenis de resulterende piekafvoer of -waterstand bepaald. De frequenties en piekwaterstanden van alle synthetische gebeurtenissen worden gecombineerd om overschrijdingskansen van waterstanden te bepalen. Deze methode wordt ook wel aangeduid met de term *statistiek vooraf*, omdat de bepaling van de kansverdeling(en) voorafgaand aan de modelberekeningen plaatsvindt.

- **De tijdreeksmethode:** Een langjarige (meestal circa 100 jaar) historische neerslagreeks wordt door een hydrologisch/hydraulisch simulatiemodel omgezet in waterstanden. Door de resultaten wordt vervolgens een kansverdelingsfunctie gefit om voor verschillende herhalings tijden de overschrijdingswaterstanden of -afvoeren te kunnen berekenen. Deze methode wordt ook wel aangeduid met de term *statistiek achteraf*: de statistische interpretatie vindt plaats na de modelberekeningen.

In dit artikel bespreken we hoe de nieuwe extreme neerslagstatistiek kan bijdragen aan een verantwoorde toetsing van watersystemen met de stochastenmethode. Alhoewel de werkwijze van die methode al grotendeels vastligt, moet er toch een aantal keuzes gemaakt worden waarvan de afweging lang niet altijd evident is. In dit artikel beschrijven we eerst de nieuwe neerslagstatistiek en de stochastenmethode, om vervolgens dieper in te gaan op de te maken keuzes. We doen dit aan de hand van een praktijkvoorbeeld van de waterstand in een peilgebied op Schouwen-Duivenland. Het peilgebied maakt onderdeel uit van een poldersysteem dat direct uitslaat op de Oosterschelde, zonder tussenkomst van een boezem. Het was daarom niet noodzakelijk om hydraulische berekeningen uit te voeren. Het poldersysteem is derhalve geschematiseerd en doorgerekend in SOBEK-RR. Figuur 1 geeft een impressie van de modelschematisatie.

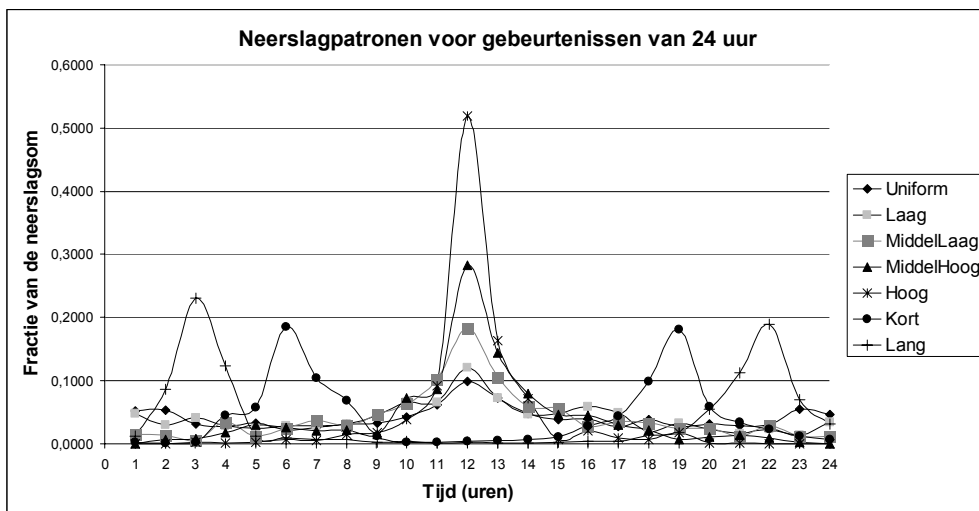


Figuur 1: SOBEK-modellschematisatie van Duiveland.

De nieuwe neerslagstatistiek

De nieuwe neerslagstatistiek geeft voor acht neerslagduren variërend van 4 uur tot 9 dagen, bij veertien verschillende overschrijdingsfrequenties, variërend van 10 maal per jaar tot eens per 1000 jaar de neerslagsommen (in mm).

Bijvoorbeeld bij de combinatie '1 keer per jaar' en '24 uur' hoort voor De Bilt een neerslagsom van 33 mm. Dat betekent dat de gebeurtenis 'meer dan 33 mm regen in een aangesloten periode van 24 uur' gemiddeld eens per jaar voorkomt. Behalve neerslagsommen geeft het rapport ook een kansverdeling voor zeven verschillende neerslagpatronen die het tijdsverloop beschrijven (zie Figuur 2). De statistiek is gebaseerd op de meetreeks van station De Bilt, waar vanaf 1906 uurlijkse gegevens beschikbaar zijn.



Figuur 2: STOWA onderscheidt zeven verschillende temporele neerslagpatronen.

De 784 (14 x 8 x 7) mogelijke combinaties, en daarmee evenzoveel unieke ontwerp buien, beschrijven min of meer het hele spectrum van mogelijke gebeurtenissen. Daarmee vormt het een goede basis om ook voor extreem hoge waterstanden de overschrijdingsfrequentie te bepalen.

De stochastenmethode in vogelvlucht

Hoewel de stochastenmethode inmiddels aardig is ingeburgerd in het Nederlandse waterbeheer is de naam eigenlijk niet eenduidig. Er zijn immers ook andere methoden waarin gebruik gemaakt wordt van stochastische variabelen (Van der Klis et. al., 2005) zoals bijvoorbeeld Monte Carlo technieken. Een betere benaming voor dit type methode is 'numerieke integratie', omdat het gehele bereik van mogelijke gebeurtenissen in discrete (numerieke) stappen wordt uitgeïntegreerd. De methode staat echter beter bekend als de stochastenmethode; daarom zullen we in dit artikel die term blijven hanteren. Binnen de methode worden globaal de onderstaande stappen doorlopen.

Stap 1: kies de stochasten

De variabelen die in deze methode als stochasten fungeren behoren aan twee voorwaarden te voldoen:

- 1 Ze zijn van invloed op de doelvariabele, in ons voorbeeld de waterstand bij een peilvak op Schouwen-Duivenland.
- 2 Hun toestand kan in de tijd (sterk) variëren.

In het geval van een boezem- of poldersysteem komen variabelen in aanmerking als:

- de neerslaghoeveelheid;
- de neerslagduur;
- het neerslagpatroon (verdeling van de neerslag in de tijd);
- de initiële (grond)waterdiepte; en
- het wel/niet functioneren van een pomp of gemaal.

Stap 2: Bepaal de kansverdeling van iedere stochast

De gezochte kansverdeling van de waterstand is afhankelijk van de kansverdelingen van de gekozen stochasten. Voor de stochasten die gerelateerd zijn aan de neerslag is voor dit doeleinde de nieuwe neerslagstatistiek beschikbaar. Een praktische uitwerking van het afleiden van kansverdelingen uit die statistiek is uitgewerkt in de bijlage. De afleiding van overige stochasten valt buiten de doelstellingen van dit artikel.

Stap 3: Simuleer combinaties van de stochasten

Iedere unieke combinatie van stochasten vormt een mogelijk op te treden neerslaggebeurtenis. Elk van die gebeurtenissen wordt gesimuleerd met behulp van een hydrologisch/hydraulisch model. Het is zaak om het aantal berekeningen te beperken om de benodigde rekentijd beheersbaar te houden. Daartoe worden de mogelijke uitkomsten van stochasten ingedeeld in een aantal klassen. Eén waarde uit die klasse, bijvoorbeeld het gemiddelde, wordt doorgerekend met het model en de berekende waterstand wordt representatief geacht voor de hele klasse. In de bijlage geven we, naast de in stap 2 genoemde afleiding van de kansverdelingen, ook een voorbeeld van zo'n klasse-indeling van de neerslag-stochasten op basis van de nieuwe neerslagstatistiek. Na uitvoering van de simulaties wordt voor elke combinatie de resulterende hoogste waterstand uit de doorgerekende modelperiode opgeslagen.

Stap 4: Bereken overschrijdingsfrequenties van waterstanden

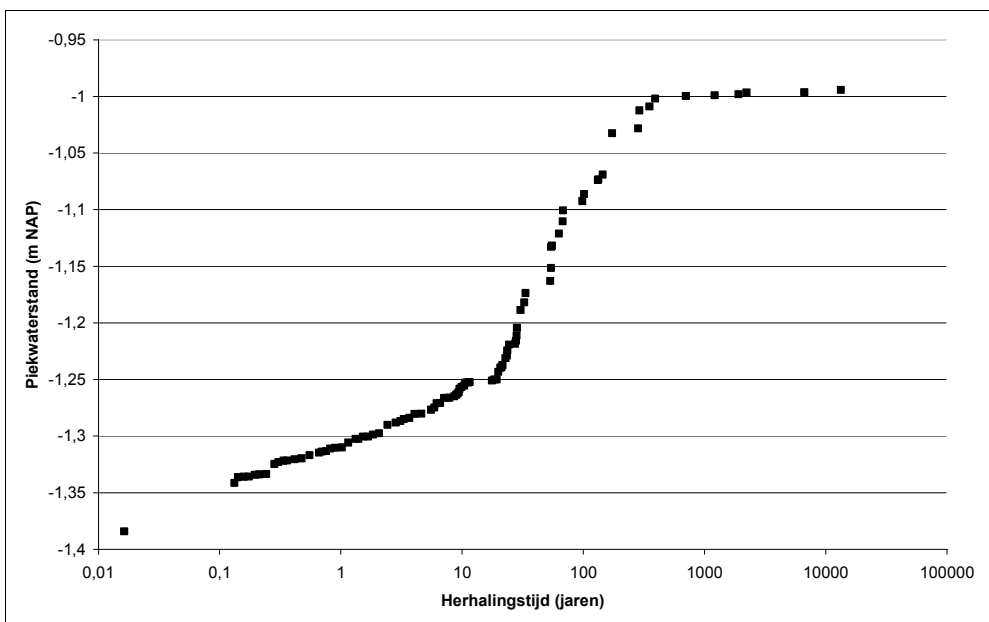
De laatste stap is het bepalen van de frequentieverdeling van de waterstand. Dit gebeurt door voor een aantal gedefinieerde waterstanden in het relevante bereik de overschrijdingsfrequentie te berekenen. Voor elke willekeurige waterstand, h , wordt deze als volgt bepaald:

- Selecteer alle gesimuleerde gebeurtenissen waarvoor de piekwaterstand hoger is dan h .
- Bereken de frequentie (of kans) van voorkomen van de gebeurtenissen uit stap 3, op

basis van de kansverdelingen die bij stap 2 zijn bepaald. Als de stochasten onderling onafhankelijk zijn kan dit eenvoudig door de kansen op de doorgerekende stochastwaarden te vermenigvuldigen. Onafhankelijkheid betekent dat de uitkomst van een stochast geen invloed heeft op de kans van voorkomen van de andere stochasten.

- Sommeer de frequenties uit het bovenstaande punt. Het resultaat is de overschrijdingsfrequentie van waterstand h .

Figuur 3 laat het resultaat zien voor een peilvak op Schouwen-Duiveland. Ieder punt in de grafiek stelt de maximale waterstand uit een gesimuleerde combinatie van stochasten voor. Merk op dat de grafiek enigszins trapsgewijs verloopt. Dit wordt veroorzaakt door de gekozen klasse-grootte van de neerslaghoeveelheden. Hoe fijner de klasse-indeling, hoe gladder het uiteindelijke resultaat zal zijn. De grafiek vlakkt af bij -1 m NAP omdat daar inundatie van het maaiveld begint te treden.



Figuur 3: Overschrijdingsgrafiek voor een peilvak op Schouwen-Duiveland.

Enkele hete hangijzers

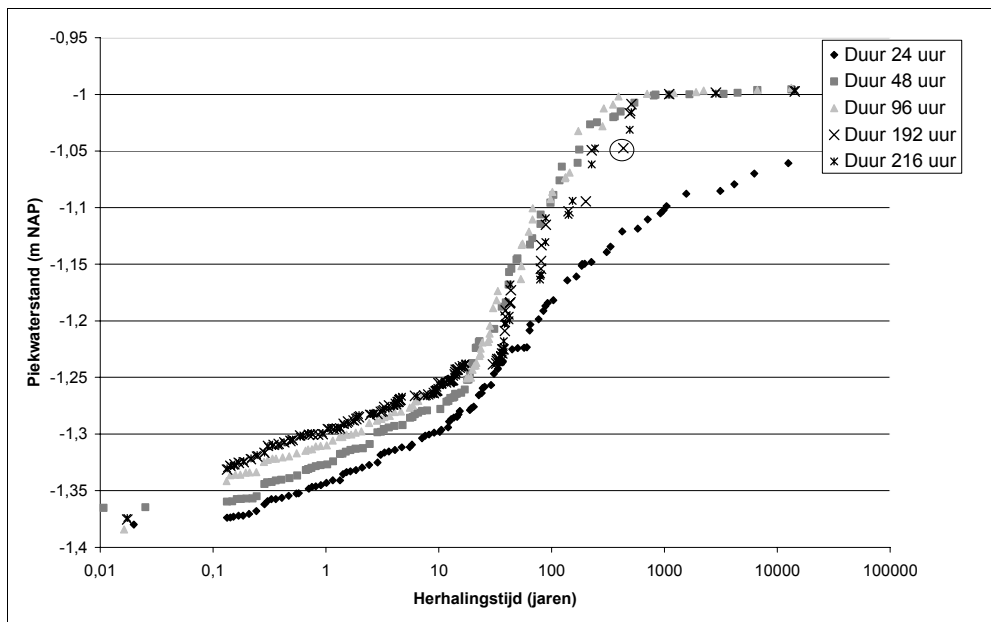
De beschreven procedure is op het oog redelijk recht toe recht aan toe te passen. Bij de praktische uitvoering doemt echter een aantal problemen op die we in het vervolg van dit artikel bespreken.

Neerslagduren

De waterstanden in figuur 3 zijn afgeleid voor één neerslagduur, namelijk 216 uur. Dat betekent dat deze uitkomsten alleen toepasbaar zijn voor het ontwerp van watersystemen waarvoor geldt dat gebeurtenissen van die duur volledig bepalend zijn voor het ontstaan

van hoge waterstanden. In de praktijk wordt de aanname van een representatieve duur (overigens niet per se 216 uur) vaak toegepast om de analyse beheersbaar te houden. De geldigheid van deze aanname is echter op z'n minst discutabel. Hoge waterstanden kunnen zowel het gevolg zijn van korte hevige buien, als van langdurige neerslaggebeurtenissen met een grote neerslagsom. Daar komt bij dat het type gebeurtenis dat hoge waterstanden veroorzaakt van locatie tot locatie kan variëren, ook binnen één beheersgebied. In gebieden met veel verhard oppervlak zijn doorgaans de korte, hevige stortbuien maatgevend, in landelijk gebied vaak meer de buien met een lange duur.

Figuur 4 toont de resultaten van de stochastenmethode voor hetzelfde rekenvoorbeeld, maar nu met verschillende neerslagduren. De grafieken voor verschillende neerslagduren kruisen elkaar. Dat betekent dat er niet één dominante tijdsduur is aan te wijzen, maar dat voor verschillende herhalings tijden een andere duur dominant kan zijn. Bij herhalings tijden tussen 1 en 10 jaar blijken de uren 192 en 216 uur de hoogste waterstanden op te leveren. Bij grotere herhalings tijden worden echter de 48 en 96 uren buien dominant. Hieruit blijkt dat het doorrekenen van slechts één tijdsduur tot een onderschatting van waterstanden en corresponderende overschrijdingsfrequenties kan leiden. Bij het toepassen van de stochastenmethode moet dus terdege rekening gehouden worden met verschillende uren. Een eenvoudige constatering waar echter geen eenduidige oplossing voor bestaat.



Figuur 4: Overschrijdingsgrafiek voor vijf uren D (uren) voor een peilvak op Schouwen-Duiveland.

In eerste instantie valt te denken aan het kiezen van de bovengrens van alle grafieken uit figuur 4 als resulterende overschrijdingsfrequentielijn. Deze keuze impliceert dat voor elke herhalings tijd vastgesteld wordt welke tijdsduur tot de hoogste waterstand leidt en deze hoogste waterstand is dan representatief voor de herhalings tijd. Deze methode leidt echter tot een *onderschatting* van de werkelijke overschrijdingsfrequenties van waterstanden. Dit lichten we toe aan de hand van het voorbeeld van het omcirkelde punt uit figuur 4. Dit

punt representeert een neerslaggebeurtenis met een duur van 192 uur, waarbij de maximale waterstand gelijk is aan $-1,05 \text{ m} + \text{NAP}$. Voor de berekende herhalingstijd (orde 450 jaar) geldt dat deze gebeurtenis niet de hoogste waterstand geeft; die wordt gevonden bij een tijdsduur van orde 92 uur. In de voorgestelde methode heeft dit tot gevolg dat het omcirkelde punt niet langer wordt meegewogen in de uitkomst, omdat het geen onderdeel uitmaakt van de bovengrens van de getoonde grafieken. Echter, aangezien de betreffende neerslaggebeurtenis een bepaalde kans van voorkomen heeft, draagt deze in werkelijkheid wel degelijk bij aan de overschrijdingskansen van alle waterstanden onder het niveau van $-1,05 \text{ m} + \text{NAP}$. In de hier voorgestelde methode verwaarlozen we deze bijdrage, en dus leidt deze methode tot onderschattingen van faalfrequenties.

We moeten dus rekening houden met de tijdsduur van de neerslaggebeurtenissen. Omdat de tijdsduur sterk kan variëren ligt het voor de hand om deze als volwaardige stochast mee te nemen. Dit kan bijvoorbeeld door aan elk van de doorgerekende tijdsduren een bepaalde kans van voorkomen toe te kennen, gebaseerd op waargenomen frequenties van neerslagduren in de reeks van De Bilt. De som van de toegekende kansen moet gelijk zijn aan 1. Verder moet het zo zijn dat de doorgerekende duren een representatieve selectie zijn uit het hele spectrum aan duren. Voor elke willekeurige waterstand, h , wordt de overschrijdingsfrequentie dan als volgt bepaald:

- Bepaal voor elke tijdsduur de overschrijdingsfrequentie van h . In ons rekenvoorbeeld kunnen deze kunnen bijvoorbeeld uitgelezen worden uit figuur 4.
- Vermenigvuldig voor elke tijdsduur de frequentie uit het vorige punt met de kans van voorkomen van de tijdsduur; het resultaat is een overschrijdingsfrequentie per tijdsduur.
- Sommeer de frequenties uit het vorige punt. Dit geeft de totale overschrijdingsfrequentie van h .

Merk op dat de som van de frequenties van alle gebeurtenissen, ditmaal dus *met inbegrip* van de neerslagduur, wederom 365 is. We krijgen dan niet langer een grafiek zoals figuur 4, waarin de resultaten voor vijf verschillende duren als aparte reeks geplot worden, maar één reeks die vijfmaal zoveel punten bevat.

Hoewel met een dergelijke methode rekening gehouden wordt met het stochastische karakter van de neerslagduur, is deze helaas statistisch gezien nog steeds niet volledig correct. De oorzaak daarvan ligt in de wijze waarop de neerslagreeks van De Bilt door (KNMI en HKV, 2004) is vertaald in statistische kentallen. Daarmee bedoelen we overigens niet dat in die publicatie incorrecte statistiek is afgeleid! Echter, de statistiek van, bijvoorbeeld, 2-daagse neerslagsommen en 24-uurssommen zijn voor een belangrijk deel gebaseerd op metingen van dezelfde neerslaggebeurtenissen. Dat betekent dat het combineren van verschillende tijdsduren in de stochastenmethode impliciet leidt tot dubbelstellingen van neerslaggebeurtenissen en daarmee tot overschatting van overschrijdingsfrequenties. Stel bijvoorbeeld dat tijdens een gebeurtenis op één dag 60 mm valt en op de dag erna nog eens 20 mm. Na omrekening met het hydrologisch/hydraulisch model in stap 3 zullen zowel de dagsom van 60 mm als de tweedaagse som van 80 mm tot relatief hoge waterstanden leiden. Voor een lager waterstandsniveau h worden in de stochastenmethode dan twee overschrijdingen geturfd, terwijl het in werkelijkheid uiteraard slechts één overschrijding betreft (want één neerslaggebeurtenis).

Om te kunnen corrigeren voor deze dubbelstellingen dient in feite een aanvullende analyse uitgevoerd te worden op de neerslagreeks van De Bilt. Uit die analyse moet blijken

welk percentage van de gebeurtenissen die aan de basis liggen van, bijvoorbeeld, de 24 uurssom eveneens aan de basis ligt van de statistiek van de overige tijdsduren. Op basis van deze percentages kunnen dan reductiefactoren afgeleid worden die tot een betere schatting moeten leiden van de overschrijdingsfrequenties van waterstanden. Een dergelijke analyse is overigens niet triviaal en zeer arbeidsintensief.

Tot slot merken we op dat de in de inleiding genoemde tijdreeksmethode van deze problematiek gevrijwaard is omdat het rechte reeks gebruik maakt van de gemeten neerslagreeks in plaats van de statistiek. De tijdreeksmethode heeft echter weer als nadeel dat daarmee niet het hele bereik aan potentiële neerslaggebeurtenissen wordt doorgerekend. Overschrijdingsfrequenties van extreem hoge waterstanden moeten dan gebaseerd worden op extrapolatie van de grafiek waarin waterstanden tegen herhalingstijden worden afgezet. Dit veroorzaakt de nodige onzekerheden in de resultaten.

Keuze van klassen

Om het aantal modelberekeningen te beperken worden in stap 3 mogelijke uitkomsten van de stochasten ingedeeld in een aantal klassen (zie ook bijlage). Eén waarde uit die klasse, bijvoorbeeld het gemiddelde, wordt doorgerekend met het model en de berekende waterstand wordt representatief geacht voor de hele klasse. Ondanks de indeling in klassen zijn doorgaans toch veel simulaties nodig. In ons rekenvoorbeeld hebben we combinaties van:

- 7 neerslagduren;
- 14 herhalingstijden, variërend van 10 maal per jaar tot eens per 1000 jaar;
- 2 seizoenen (zomerhalfjaar en winterhalfjaar);
- 7 neerslagpatronen; en
- 4 initiële grondwaterklassen.

Dit levert dus $7 * 14 * 2 * 7 * 4 = 5488$ simulaties op en dat aantal is in de praktijk doorgaans te groot om werkbaar te zijn. Om de rekentijd zoveel mogelijk te beperken kunnen bijvoorbeeld de klassen groter gekozen worden. Dit brengt echter als nadeel mee dat de aanname van representativiteit van één waarde voor de hele klasse in mindere mate geldig is en de uitkomst van de kansberekening daardoor minder nauwkeurig. Het gaat hier dus om een afweging tussen enerzijds de benodigde rekentijd en anderzijds de nauwkeurigheid van de uitkomst.

De keuze voor de klassegrootte moet vaak intuïtief gemaakt worden. Ter ondersteuning van deze keuze kan mogelijk een gevoeligheidsanalyse zinvol zijn. Dit heeft echter weer als nadeel dat een dergelijke analyse ook weer de nodige berekeningen vergt, waardoor het zijn doel voorbij kan schieten. Zo'n gevoeligheidsanalyse is dan ook vooral zinvol als de stochastenmethode meerdere keren moet worden toegepast voor dezelfde locatie of voor hetzelfde gebied. Dit is bijvoorbeeld het geval als effecten van verschillende maatregelen in het gebied op ontwerpwaterstanden moeten worden doorgerekend.

Onafhankelijkheid van stochasten

In stap 4 van de methode wordt de frequentie (of kans) van voorkomen van de gesimu-

leerde gebeurtenissen berekend. Daarbij wordt vaak aangenomen dat de stochasten onderling onafhankelijk zijn. Dat betekent dat de uitkomst van een stochast geen invloed heeft op de kans van voorkomen van de andere stochasten. Onafhankelijkheid heeft als aantrekkelijke eigenschap dat de kansen op de verschillende stochastwaarden eenvoudigweg vermenigvuldigd kunnen worden bij het bepalen van de kans van voorkomen van de gebeurtenis. Voor afhankelijke stochasten gaat dat niet op en is een uitgebreidere analyse vereist. In zulke gevallen moet namelijk zogenaamde gezamenlijke kansverdelingsfuncties afgeleid worden, of minimaal benaderingen daarvan. Dergelijke functies beschrijven de kans op voorkomen van uitkomsten van combinaties van stochasten.

Met het uitbrengen van de nieuwe neerslagstatistiek is deze problematiek voor een groot deel afgevangen. De afhankelijkheid van de stochasten die betrekking hebben op de neerslag (tijdsduur, hoeveelheid en tijdsverloop) zijn in de betreffende studie geanalyseerd en vervolgens gekwantificeerd. De afhankelijkheid tussen de tijdsduur en hoeveelheid komt tot uitdrukking in het gegeven dat voor acht verschillende tijdsduren herhalingstijden zijn vastgesteld van neerslaghoeveelheden. De afhankelijkheid tussen de tijdsduur en het tijdsverloop komt tot uitdrukking in het gegeven dat voor vijf verschillende tijdsduren de kans van voorkomen beschikbaar is voor de zeven gedefinieerde patronen die het tijdsverloop representeren.

Voor wat betreft de afhankelijkheid tussen de neerslag-stochasten enerzijds en de initiële grondwaterstand anderzijds lijkt vooral een indeling in seizoenen van belang. In het zomerseizoen is met name door de verhoogde verdamping minder bodemvocht beschikbaar dan de winter. Verder zijn de streefpeilen in poldersystemen voor de beide seizoenen onderling verschillend. Ook voor de neerslag geldt dat deze in de zomer andere karakteristieken heeft dan in de winter. Er bestaat dus een afhankelijkheid tussen de neerslag en de initiële grondwaterstand die gerelateerd is aan de tijd van het jaar waarin de gebeurtenis plaats vindt. De publicatie van Buishand en Velds (1980) geeft in principe de mogelijkheid om voor beide seizoenen aparte statistiek te hanteren, al valt de jaaropdeling die STOWA daarin gekozen heeft niet geheel samen met het regime voor zomer- en winterstreefpeilen dat gebruikelijk is bij waterschappen.

Conclusies

Bij het toepassen van de stochastenmethode dient een aantal weloverwogen praktische keuzen gemaakt te worden. In dit artikel betogen wij dat met name het omgaan met de tijdsduur van neerslaggebeurtenissen verdere uitwerking behoeft. In de praktijk is het gebruikelijk om vooraf een vaste neerslagduur te kiezen die 'kritisch' of 'representatief' zal zijn voor het gebied, d.w.z. dié duur die waarschijnlijk de hoogste waterstanden zal opleveren. In landelijke gebieden wordt vaak de duur van 9 dagen gekozen. In dit artikel tonen wij echter aan dat deze benadering te grof kan zijn. Uit een rekenvoorbeeld voor een peilvak in Schouwen-Duiveland kwam naar voren dat neerslaggebeurtenissen met uiteenlopende tijdsduren relevant zijn voor hoge waterstanden. We pleiten er daarom voor om bij toepassing van de nieuwe neerslagstatistiek op de stochastenmethode niet slechts één neerslagduur te analyseren, maar een *spectrum* van duuren rond de verwachte kritische duur, en de neerslagduur in feite als een volwaardige stochast toe te passen. Om dit mogelijk te maken bevelen we aan om een aanvullende analyse uit te voeren op de neerslagreeks van De Bilt.

Literatuur

Buishand, T.A. en C.A. Velds (1980) Klimaat van Nederland 1, Neerslag en verdamping; KNMI, De Bilt.

Klis, H. van der, W. Courage en P. Diermanse (2005) Hoe klein zijn onze kansen?: een probabilistische toolbox voor analyse van extreme waarden; in: *Stromingen*, jrg 11, nr 2.

KNMI en HKV (2004) Statistiek van extreme neerslag in Nederland, in opdracht van STOWA.

STOWA (2004) Nieuwe Neerslagstatistiek voor Waterbeheerders, brochure 26a, 2004.

Bijlage

Om het aantal computerberekeningen eindig te houden zullen de diverse stochasten in klassen moeten worden aangeboden aan het hydrologische simulatieprogramma. In deze bijlage werken we een dergelijke klasse-indeling uit voor de stochast *neerslaghoeveelheid*. Voor de kansverdeling van neerslaghoeveelheid rekenen we op de nieuwe neerslagstatistiek. In dit voorbeeld beperken we ons tot de *gegevens voor het gehele jaar* uit tabel 1 van (STOWA, 2004):

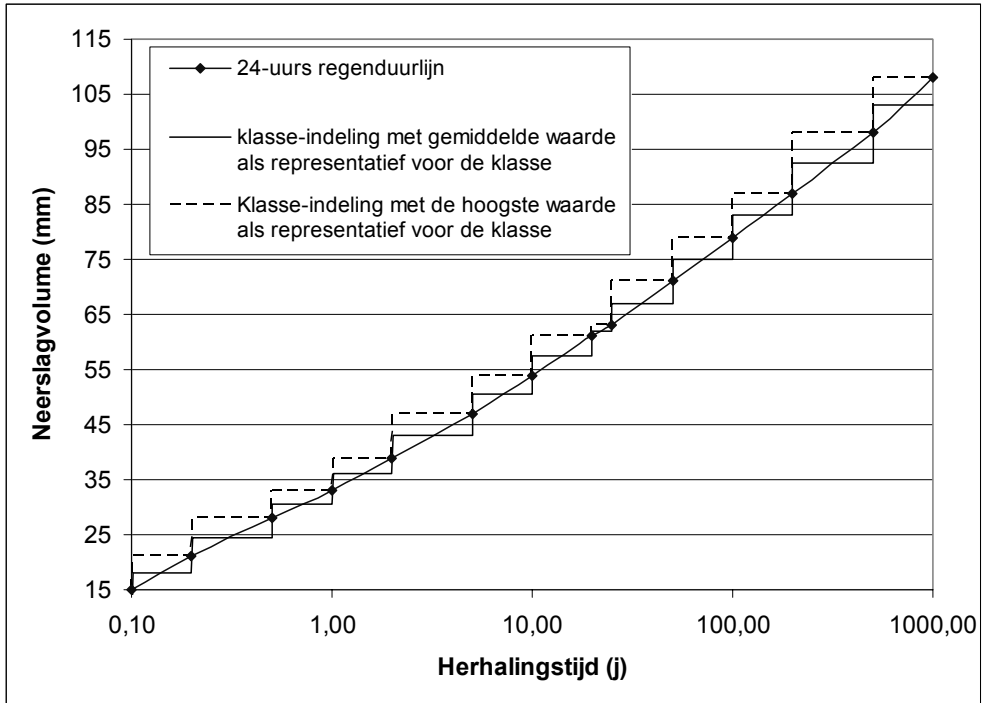
Tabel 1: Neerslaghoeveelheden (mm) gebaseerd op de neerslagreeks 1906-2003 voor het gehele jaar. Bron: (STOWA, 2004) (Dit is een samenvatting van (KNMI en HKV, 2004)).

jaar	uren				dagen			
	4	8	12	24	2	4	8	9
10x per jaar	9	12	13	15	19	-	-	-
5x per jaar	12	15	17	21	26	33	43	45
2x per jaar	16	20	23	28	35	45	61	64
1x per jaar	21	24	27	33	41	52	71	75
1x per 2 jaar	25	29	32	39	48	60	81	86
1x per 5 jaar	31	36	40	47	58	71	94	99
1x per 10 jaar	36	41	46	54	65	80	103	109
1x per 20 jaar	41	47	52	61	73	89	113	118
1x per 25 jaar	43	49	54	63	75	91	115	121
1x per 50 jaar	49	56	61	71	84	100	124	130
1x per 100 jaar	55	62	68	79	92	109	133	138
1x per 200 jaar	61	69	75	87	101	118	141	146
1x per 500 jaar	71	79	86	98	113	130	152	156
1x per 1000 jaar	78	88	95	108	123	140	159	163

Een klasse-indeling is eenvoudig te maken aan de hand van deze tabel: wanneer we de neerslagduur van 24 uur beschouwen, mogen we de bijbehorende *gemiddelde* neerslagdiepte van 7,5 mm ($(15-0)/2$) representatief achten voor alle gebeurtenissen die 10 maal per jaar voorkomen en vaker. De diepte van 18 mm achten we dan representatief voor alle

gebeurtenissen die tussen de 5 en 10 maal per jaar voorkomen, enzovoorts.

Die keuze om per klasse de *gemiddelde* neerslaghoeveelheid daadwerkelijk in de berekeningen toe te passen is overigens een subjectieve. Er is ook iets voor te zeggen om bijvoorbeeld de hoogste waarde uit die klasse te gebruiken, waarmee de resultaten wat meer aan de conservatieve kant zullen liggen. Figuur 5 illustreert het verschil tussen beide benaderingen.



Figuur 5: Het opdelen van de neerslagvolumes uit de regenduurlijn in klassen kan op verschillende wijzen worden gedaan.

Van herhalingstijd naar frequentie of kans

De stochastenmethode heeft echter geen herhalingstijden nodig, maar moet van elke klasse weten wat de *frequentie* van vóórkomen of de *kans* is. Merk op dat frequentie en kans niet hetzelfde zijn: de frequentie is het gemiddeld aantal keren dat een gebeurtenis zich voordoet per tijdsinterval, en kan dus groter dan 1 zijn. Bij een kans is dat niet mogelijk.

De frequentie waarmee een neerslaghoeveelheid uit een klasse zal voorkomen (aantal dagen per jaar) is:

$$f = \frac{1}{T_{\text{ondergrens_klasse}}} - \frac{1}{T_{\text{bovengrens_klasse}}}$$

Waarbij:

T	=	herhalingstijd	[jaar]
f	=	frequentie	[jaar ⁻¹]

Voor de 24-uurs neerslaggebeurtenissen uit tabel 1 resulteert dit in een klasse-indeling van de neerslagvolumes; zie tabel 2. Merk op dat de som van alle frequenties 365 is (alle 365 dagen van het jaar zal de neerslag in één van de onderstaande klassen vallen).

Tabel 2: Klasse-indeling van de neerslagvolumes binnen de duur van 24 uur.

Neerslagvolume (mm)	Herhalingstijd (j)	Frequentie (d/j)
0 tot 15	tot 0,1	355
15 tot 21	0,1 tot 0,2	5
21 tot 28	0,2 tot 0,5	3
28 tot 33	0,5 tot 1	1
33 tot 39	1 tot 2	0,5
39 tot 47	2 tot 5	0,3
47 tot 54	5 tot 10	0,1
54 tot 61	10 tot 20	0,05
61 tot 63	20 tot 25	0,01
63 tot 71	25 tot 50	0,02
71 tot 79	50 tot 100	0,01
79 tot 87	100 tot 200	0,005
87 tot 98	200 tot 500	0,003
98 tot 108	500 tot 1000	0,002
> 108	> 1000	0,001
	Som	365