

Overstortingsfrequenties en klimaatverandering

1. Inleiding

De theoretische overstortingsfrequenties van rioolstelsels zijn van oudsher een maat geweest voor de vuilvracht die geloosd wordt op het open water systeem. Hoewel deze maat vandaag de dag enigszins discutabel is, zullen waterkwaliteitsbeheerders toch trachten het aantal overstorten tot een minimum te beperken.



IR. THEO BRANDSMA
Faculteit der Civiele Techniek,
TU Delft

In Nederland blijken de overstortingsfrequenties gevoelig te zijn voor hoogteverschillen in het landschap (orografisch effect) [Buishand, 1985]. Verder zijn er indicaties dat de aanwezigheid van grote stedelijke gebieden de neerslag, en daarmee de overstortingsfrequenties, kan beïnvloeden [Buishand, 1979; Witter, 1984]. De gevoeligheid voor een eventuele klimaatverandering, door een toename in de concentraties van broeikasgassen en/of door natuurlijke klimaatfluctuaties, is nog niet bekend. In dit artikel wordt getracht de grenzen aan te geven waarbinnen de gevolgen van een eventuele klimaatverandering zullen liggen.

Voor de voorspelling van de invloed van klimaatverandering op de overstortingsfrequenties van rioolstelsels is informatie nodig over de te verwachten veranderingen in de neerslag. Het is inmiddels duidelijk dat de huidige generatie klimaatmodellen niet in staat zijn deze veranderingen in neerslag te voorspellen. Dit geldt des te meer voor regionale veranderingen als functie van plaats en tijd. Van een aantal belangrijke processen is namelijk nog niet bekend wat hun invloed zal zijn op een eventuele klimaatverandering. Te noemen zijn: de stromingspatronen van het water in de oceanen, vorming van bewolking en veranderingen in het bodemvocht.

De klimaatscenario's die momenteel gebruikt worden hebben meestal betrekking op veranderingen die gemiddeld zijn naar plaats en tijd, bijvoorbeeld: de verandering in de gemiddelde jaarneerslag voor een gebied zo groot als West-Europa. Voor hydrologische modellen zijn echter meteorologische tijdsreeksen nodig als invoervariabelen. De klimaatscenario's moeten dus op de een of andere wijze vertaald worden in meteorologische tijdsreeksen. De transformatie van deze scenario's in meteorologische tijdsreeksen is niet eenduidig. Dit probleem wordt wel aan-

Samenvatting

In dit artikel wordt de klimaat-analoog-methode gepresenteerd als een methode om de grenzen aan te geven van de mogelijke veranderingen in overstortingsfrequenties van gemengde rioolstelsels door toekomstige klimaatveranderingen. Onder de aanname dat de huidige relatie tussen overstortingsfrequenties en aantal dagen met neerslag boven een bepaalde drempelwaarde (afhankelijk van de dimensies van het rioolstelsel) gelijk blijft, zijn voor een aantal analoge klimaten de overstortingsfrequenties berekend. Voor stelsels die een theoretische overstortingsfrequentie hebben groter dan zo'n 7 x per jaar blijkt de ondergrens van de veranderingen in deze overstortingsfrequenties te variëren tussen een afname van 15% en een toename van 30%. De bovengrens is een toename van zo'n 35 tot 130%. Deze veranderingen gelden uiteraard alleen voor de analoge klimaten die in deze studie gebruikt zijn. Echter, het lijkt redelijk te veronderstellen dat de hier gegeven analoge klimaten het gebied bestrijken waarbinnen een mogelijke toekomstige klimaatverandering zal liggen.

geduid als het inverse klimaatprobleem; vooral voor processen waarbij extreme waarden een rol spelen is dit probleem van belang.

Bij de berekening van overstortingsfrequenties van rioolstelsels speelt het inverse klimaatprobleem een belangrijke rol. Er wordt gewoonlijk gewerkt met een neerslagreeks met kleine tijdstappen, ongeveer 5 minuten, waarbij vooral de buien met zeer hoge neerslagintensiteiten aanleiding geven tot overstorten. Wanneer een dergelijke neerslagreeks nu gebruikt wordt om de gevolgen van klimaatverandering te voorspellen moeten een aantal subjectieve aannames gedaan worden over de wijze waarop deze klimaatverandering aangebracht wordt in de reeks. Zo moet een keuze gemaakt worden of het aantal intervallen met neerslag al dan niet verandert; er moet een keuze gemaakt worden hoe een verandering in de neerslag verdeeld wordt over de intervallen met neerslag, bijvoorbeeld, door alle intervallen met een waarde te vermenvuldigen of door bij alle intervallen een constante waarde op te tellen of juist ervan af te trekken. In dit laatste geval zou men zelfs negatieve neerslagen kunnen krijgen. Dit probleem kan opgelost worden door te veronderstellen dat een negatieve neerslag gelijk is aan geen neerslag. Het moge duidelijk zijn dat één klimaatscenario zo kan resulteren in talloze meteorologische scenario's. De gevoeligheid van overstortingsfrequenties (en ook andere overstortingsvariabelen) voor de wijze waarop één en hetzelfde klimaatscenario wordt aangebracht in een bestaande meteorologische reeks is onderzocht door de auteur [Brandsma, 1993].

Zoals verwacht waren de resultaten hier zeer gevoelig voor.

In dit artikel wordt de klimaat-analoog-methode gepresenteerd als een methode om een duidelijker beeld te krijgen van de

mogelijke veranderingen in overstortingsfrequenties door klimaatverandering. Hierbij beperken we ons tot de zogenaamde gemengde stelsels. De nadruk ligt daarbij niet zozeer op de absolute veranderingen maar op de relatieve veranderingen.

2. Theorie en methode

De methode van onderzoek die in deze studie gebruikt is kan als volgt worden samengevat: Voor een plaats in Nederland, in dit geval Lelystad, worden de jaarlijkse overstortingsfrequenties (osf_j) voor een periode in het verleden berekend. Dit wordt gedaan met behulp van een reeks neerslagcijfers met tijdstappen van 5 minuten, voor de periode 1970-1984. Vervolgens wordt gezocht naar de relatie tussen osf_j en het aantal dagen in jaar j met neerslag groter dan een bepaalde drempelwaarde. Deze drempelwaarde is afhankelijk van de dimensies van het rioolstelsel. De gevonden relatie wordt vervolgens gebruikt voor het berekenen van de gemiddelde overstortingsfrequentie (osf) van een aantal West-Europese steden. Van deze steden zijn reeksen met dagneerslagen beschikbaar zodat het aantal dagen met neerslag boven de drempelwaarde berekend kan worden. De belangrijkste aanname in dit verband is dat de gevonden relatie tussen (osf_j) en het aantal dagen met neerslag boven de drempelwaarde geldig blijft onder veranderde klimatologische omstandigheden. Op dit moment lijkt dat een redelijke aanname, vooral omdat het hier gaat om een eerste afschatting van de mogelijke effecten van klimaatverandering.

Buishand [1985] vond voor De Bilt een duidelijke relatie tussen het aantal dagen met neerslag > 10 mm gecombineerd met de hoeveelheid neerslag boven deze drempelwaarde, en de theoretische over-

stortingsfrequentie berekend met de zogenaamde stippengrafiek van Kuipers. Met behulp van deze relatie berekende hij hoe de overstortingsfrequenties voor andere plaatsen in Nederland zich verhouden tot de overstortingsfrequentie van De Bilt. Op deze wijze kon dan voor andere plaatsen in Nederland de overstortingsfrequentie berekend worden met de stippengrafiek van De Bilt. De relatie tussen het aantal dagen met neerslag boven een bepaalde drempelwaarde en de overstortingsfrequentie is ook in dit artikel gebruikt. Er zijn echter wel enige verschillen met Buishand [1985]:

1. de uitgangssituatie is hier niet De Bilt maar Lelystad;
2. de overstortingsfrequenties zijn niet berekend met de stippengrafiek van Kuipers maar aan de hand van het bakmodel met een echte neerslagreeks als invoer;
3. de hoeveelheid neerslag boven de drempelwaarde is hier niet meegenomen;
4. er is rekening gehouden met het feit dat de drempelwaarde voor de neerslag afhankelijk is van de dimensies van het rioolstelsel; een krap gedimensioneerd stelsel (hoge overstortingsfrequentie) zal een lage drempelwaarde opleveren en een ruim gedimensioneerd stelsel (lage overstortingsfrequentie) zal een hoge drempelwaarde opleveren.

Bakmodel

Voor de schematisering van een rioolstelsel is gebruik gemaakt van het welbekende bakmodel zoals geschetst in afbeelding 1. Het rioolstelsel wordt zo gezien als één grote bak met twee kenmerkende parameters nl. de maximale berging, S_{max} en de pompovercapaciteit, poc . De meeste buien ($I(t)$) zullen niet tot een overstort ($Q(t)$) leiden maar worden geborgen en afgevoerd naar de rwzi. Een klein aantal buien per jaar, afhankelijk van de parameters van het stelsel, zal echter wel tot overstorten leiden.

Voor het gebruik van het bakmodel worden meestal een aantal aannames gedaan, zoals:

- neerslagverliezen zijn verwaarloosd;

- vertragingseffecten zijn verwaarloosd;
- alleen verharde gebieden voeren volledig af;
- de volledige pompovercapaciteit is beschikbaar aan het begin van de bui.

Het gemiddelde van de met deze aannames berekende overstortingsfrequentie is de zogenaemde theoretische overstortingsfrequentie (osf). Waterkwaliteitsbeheerders eisen in het algemeen dat deze theoretische overstortingsfrequentie ≤ 7 x per jaar is. Van de Ven [1989] berekende overstortingsfrequenties voor verschillende rioolstelsels aan de hand van de zogenaamde inloop en aan de hand van de neerslag ($I(t)$). De inloop is daarbij gedefinieerd als de neerslag, gecorrigeerd voor verliezen en vertragingseffecten. Deze inloop is vervolgens gebruikt als invoer voor het bakmodel.

Aan de hand van de resultaten van Van de Ven [1989, p.200] kan aangetoond worden dat er een bijna perfecte correlatie bestaat tussen de gemiddelde overstortingsfrequentie berekend aan de hand van de inloop en aan de hand van de neerslag ($R=0.99$). De absolute waarden van de overstortingsfrequenties zijn echter wel verschillend. De aanname dat er geen neerslagverliezen zijn en dat er geen vertraging is, lijkt dus niet gerechtvaardigd wanneer we geïnteresseerd zijn in de werkelijke waarden van de overstortingsfrequenties. Voor dit onderzoek is dat geen probleem omdat we hier geïnteresseerd zijn in relatieve verschillen tussen de huidige en de 'toekomstige' situatie.

Mathematisch model

De schematisering van het rioolstelsel in afbeelding 1 kan eenvoudig in mathematische termen beschreven worden. De enige vergelijking die nodig is is de continuïteitsvergelijking

$$\frac{dS}{dt} = I(t) - Q(t) - poc \tag{1}$$

hierin is t de tijd [T], S is de berging [L], $I(t)$ is de neerslag [LT^{-1}], $Q(t)$ is het water dat overstort [LT^{-1}] ($Q(t) = 0$ als S

$< S_{max}$) en poc is de pompovercapaciteit [LT^{-1}] die constant blijft zolang er water in het stelsel aanwezig is.

Als nu de maximale berging S_{max} overschreden wordt zal er een overstort $Q(t)$ plaatsvinden. Vergelijking 1 bevat 2 onbekenden nl. $S(t)$ en $Q(t)$, daarom is er nog een extra relatie nodig. Deze relatie betreft de discontinuïteit voor $S = S_{max}$. Als $S =$

S_{max} en $I(t) > poc$ dan is $\frac{dS}{dt} = 0$ en het

verschil van $I(t)$ en poc , $I(t)-poc$, zal als overstort $Q(t)$ uit het stelsel stromen. Samen met de beginvoorwaarde op $t = 0$, $S_{|t=0} = 0$, is de volledige mathematische formulering van het model

$$\frac{dS}{dt} = I(t) - poc, \text{ als } 0 \leq S < S_{max} \tag{2}$$

$$Q(t) = I(t) - poc, \text{ als } S = S_{max} \text{ en } I(t) \geq poc \tag{3}$$

en

$$S_{|t=0} = 0 \text{ en } S \geq 0$$

Voor het oplossen van deze vergelijkingen, voor 5-minuten tijdstappen, is een eenvoudig computerprogramma geschreven.

Definities

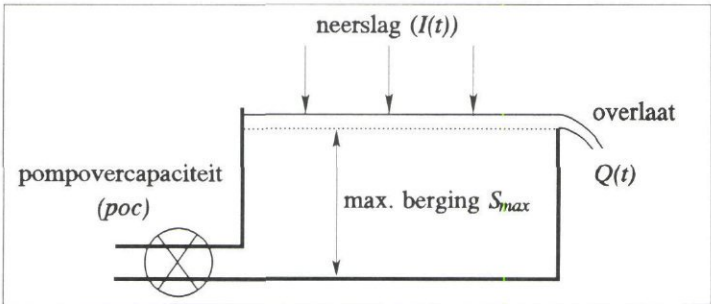
Een overstort is in dit onderzoek gedefinieerd als de gebeurtenis waarbij water over de overlaat stroomt. Alle overstorten tussen het moment dat het stelsel gevuld wordt en het moment dat het stelsel weer leeg is, worden gerekend tot dezelfde overstort. Deze definitie is in overeenstemming met de definitie gegeven door Van de Ven [1989]. De gemiddelde jaarlijkse overstortingsfrequentie, of theoretische overstortingsfrequentie, osf , is gedefinieerd als

$$osf = \frac{1}{15} \sum_{j=1}^{15} osf_j$$

Hierin is osf_j de overstortingsfrequentie in jaar j , en j komt overeen met de jaren 1970-1984, $j = 1$ voor 1970, $j = 2$ voor 1971, etc.

Neerslag en parameters

De neerslag die als invoer voor het bakmodel gebruikt is, bestaat uit een neerslagreeks van 15 jaar (1970-1984) voor Lelystad (Rijkswaterstaat, Directie Flevoland). In de originele reeks is de neerslag gegeven met variabele tijdstappen. Voor dit onderzoek is deze reeks getransformeerd in een reeks met 5 minuten tijdstappen. De met deze reeks berekende osf is de uitgangssituatie in deze studie.



Afb. 1 - Bakmodel.

TABEL I - Parameters voor 36 verschillende rioolstelsels waarvoor overstortingsfrequenties berekend zijn.

<i>i</i>	<i>poc</i> (mm/h)	<i>S_{max}</i> (mm)	<i>i</i>	<i>poc</i> (mm/h)	<i>S_{max}</i> (mm)	<i>i</i>	<i>poc</i> (mm/h)	<i>S_{max}</i> (mm)
1	0,5	2	13	1,5	2	25	2,5	2
2	0,5	4	14	1,5	4	26	2,5	4
3	0,5	6	15	1,5	6	27	2,5	6
4	0,5	8	16	1,5	8	28	2,5	8
5	0,5	10	17	1,5	10	29	2,5	10
6	0,5	12	18	1,5	12	30	2,5	12
7	1,0	2	19	2,0	2	31	3,0	2
8	1,0	4	20	2,0	4	32	3,0	4
9	1,0	6	21	2,0	6	33	3,0	6
10	1,0	8	22	2,0	8	34	3,0	8
11	1,0	10	23	2,0	10	35	3,0	10
12	1,0	12	24	2,0	12	36	3,0	12

De gemiddelde jaarlijkse overstortingsfrequentie, *osf*, is berekend voor 36 verschillende rioolstelsels. De parameters van deze stelsels zijn gegeven in tabel I.

Analoge klimaten

De klimaat-analoog-methode omvat het gebruik van temperatuur en neerslag reeksen van bestaande klimaten, verschillend van het klimaat van Nederland. De veronderstelling is dat in een veranderd klimaat, door broeikaseffect en/of natuurlijke klimaatfluctuaties, het klimaat van Nederland gaat lijken op het analoge klimaat.

De klimaat-analoog-methode is nog niet veel toegepast. Waggoner [1989] bestudeerde voor verschillende klimaten de relatie tussen de vorm van de frequentieverdeling van neerslag hoeveelheden en het gemiddelde van deze verdeling. Hij veronderstelde dat de gevonden relaties de sleutel zijn voor de kansen op het optreden van extrema door een verandering in het gemiddelde. In Nederland hebben Parmet *et al.* [1991] gegevens van het Bretonse station Rennes toegepast op het Hupselse Beek gebied.

In deze studie wordt het klimaat van Nederland vertegenwoordigd door het klimaat van Lelystad. Onder het klimaat wordt in dit verband verstaan de tijdreeks van de neerslag (1970-1984).

De analoge klimaten bestaan uit tijdreeksen van de neerslag en de temperatuur op dag-basis (1970-1990) van een aantal West-Europese steden. Ter vergelijking zijn ook tijdreeksen van De Bilt in de beschouwing betrokken. In afbeelding 2 zijn deze steden aangegeven. De gegevens zijn gekocht van de meteorologische diensten in de desbetreffende landen. Enkele van de klimaatkarakteristieken van de stations in afbeelding 2 zijn gegeven in tabel II.

De neerslag voor de steden in Sweden en Polen bestaat voor een deel uit sneeuw en hagel. Terwijl neerslag in de vorm van regen meteen kan afstromen wordt neerslag in de vorm van sneeuw en hagel

TABEL II - Gemiddelde en standaardafwijking van de jaartemperatuur en de jaarlijkse neerslag voor de stations in afb. 2 in de periode 1970-1990 en voor Lelystad (alleen neerslag voor de periode 1970-1984).

	Temp. (°C)		Neersl. (mm)	
	$\bar{x}$	<i>S_x</i>	$\bar{x}$	<i>S_x</i>
Bordeaux	12,9	0,7	918	138
De Bilt	9,6	0,7	792	141
Gdańsk	7,4	1,1	553	102
Göteborg	7,3	1,0	788	123
Lelystad	-	-	722	131
Lissabon	16,9	0,6	708	168
Nantes	12,1	0,7	783	123
Plymouth	10,8	0,5	967	129
Porto	14,5	0,5	1.233	233
Southampton	10,9	0,6	734	107
Stockholm	6,4	1,0	525	96

tijdelijk geborgen op het oppervlak. Wanneer de temperatuur nu boven het vriespunt komt kan deze neerslag als smeltwater afstromen. Om de gegevens voor Zweden en Polen te kunnen vergelijken met de gegevens voor de overige steden zijn de neerslagreeksen voor Zweden en Polen getransformeerd. In afbeelding 3 is het principe van deze transformatie aangegeven. De hoeveelheid smeltwater die beschik-

baar komt voor afstroming is gemodelleerd volgens de zogenoemde graad-dagenmethode. Hierbij is de hoeveelheid smeltwater op een dag evenredig met het temperatuuroverschot (aantal graden (T) boven het vriespunt), uiteraard zolang er sneeuw en hagel aanwezig zijn op het oppervlak. De factor 4 in afbeelding 3 is de graad-dagen factor (mm/°C). De waarde 4 is een gemiddelde van de waarden die in de literatuur gevonden worden. De resultaten bleken weinig gevoelig te zijn voor kleine (± 2) afwijkingen van deze waarde. De totale hoeveelheid water die op een bepaalde dag kan afstromen is nu gelijk aan de hoeveelheid smeltwater plus de eventuele neerslag op die dag.

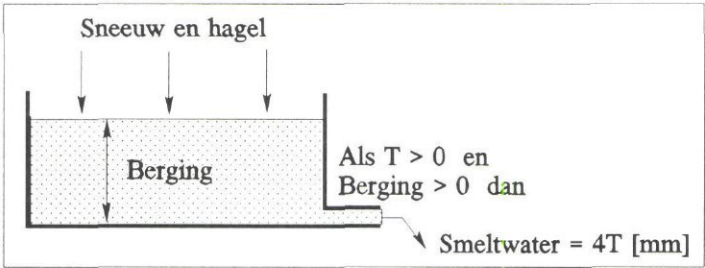
3. Resultaten

Uitgangssituatie

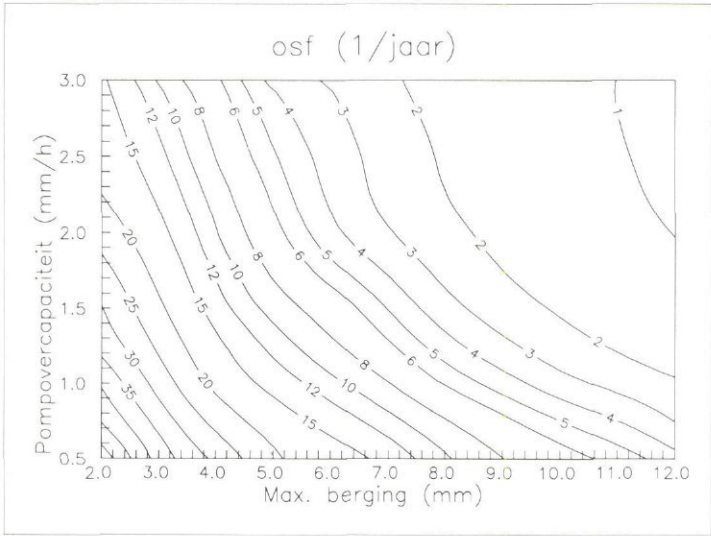
De resultaten voor de uitgangssituatie zijn gegeven in afbeelding 4. In deze afbeelding zijn de waarden voor *osf* gegeven als contourlijnen. Het is duidelijk dat *osf* een functie is van zowel de maximale berging (*S_{max}*) als de pompovercapaciteit (*poc*). Effecten van een verandering in *S_{max}* en *poc* zijn het grootst voor die stelsels waarvoor de *osf* het grootst is. Dit wordt veroorzaakt doordat de *osf* een niet-lineaire functie is van *S_{max}* en *poc*. Voor elk van de 36 combinaties van *poc* en *S_{max}* (zie tabel I), zijn de zogenoemde Pearson correlatie coëfficiënten (*R*) berekend voor *osf* en het aantal dagen met neerslag boven een bepaalde drempelwaarde voor Lelystad. Hiervoor zijn 25 drempelwaarden genomen variërend van 1 tot 25 mm. Daarna is voor elk stelsel naar een lineaire regressielijn



Afb. 2 - Steden in West-Europa waarvoor reeksen met dagwaarden van neerslag en temperatuur beschikbaar zijn voor de periode 1970-1990.



Afb. 3 - Transformatie van neerslag in de vorm van sneeuw en hagel naar smeltwater volgens de zgn. graaddagen methode.



Afb. 4 - Overstortingsfrequenties zoals berekend met het bakmodel voor Lelystad (voor de periode 1970-1984).

gezocht. Deze regressielijnen zijn van de volgende vorm

$$y_{ij} = a_i x_{ij} + b_i \tag{4}$$

hierin is y_{ij} het aantal overstortingen in jaar j voor stelselnummer i , x_{ij} is het aantal dagen met neerslag groter dan de drempelwaarde (dr_i) in jaar j voor stelselnummer i , en a_i en b_i zijn de regressiecoëfficiënten voor stelselnummer i . De verklarende variabele x_{ij} is afhankelijk van de drempelwaarde (dr_i) en is zo gekozen dat: 1. het intercept b_i gelijk aan nul wordt; en 2. een zo goed mogelijke fit verkregen wordt. De overstortingsfrequentie wordt nu gelijk aan nul als er geen zware neerslaggebeurtenissen zijn. De resultaten voor elk stelsel zijn gegeven in tabel III. Alle correlatiecoëfficiënten zijn

significant voor het 1% onbetrouwbaarheidsniveau. Dat betekent dat de kans dat een correlatiecoëfficiënt van tenminste de aangegeven waarde gevonden wordt, terwijl er in werkelijkheid geen lineaire correlatie is, kleiner is dan 0.01.

Resultaten voor de analoge klimaten
De gemiddelde jaarlijkse overstortingsfrequentie, osf_i voor de verschillende analoge klimaten kunnen nu berekend worden met behulp van de resultaten in tabel I en III en de volgende vergelijking

$$\hat{y}_i = \hat{a}_i x_i \tag{5}$$

hierin is $\hat{y}_i$ de geschatte osf voor stelsel i en voor een van de stations, x_i is het gemiddelde van het aantal dagen met

neerslag $> dr_i$ mm voor het desbetreffende station. De overstortingsfrequenties voor de buitenlandse stations en De Bilt zijn vervolgens uitgedrukt als een fractie van de uitgangssituatie volgens

$$F^* = \frac{osf(X)}{osf(Lelystad)} \tag{6}$$

waarin X verwijst naar het desbetreffende station voor het analoge klimaat. De resultaten voor elk station zijn gegeven in afbeelding 5. Om een uitspraak te kunnen doen over de statistische significantie van de gevonden F^* waarden, is voor elke drempelwaarde van de neerslag (dr_i), getoetst of het gemiddelde van het aantal dagen per jaar boven die drempelwaarde statisch verschillend is van het gemiddelde voor Lelystad. Dit is gedaan door een tweezijdige t-toets. Voor de vergelijking van De Bilt en Lelystad is rekening gehouden met de onderlinge correlatie tussen de neerslagreeksen van deze stations, daarbij is alleen de periode 1970-1984 in de berekening betrokken. De berekende onbetrouwbaarheidsniveaus zijn gegeven in tabel IV.

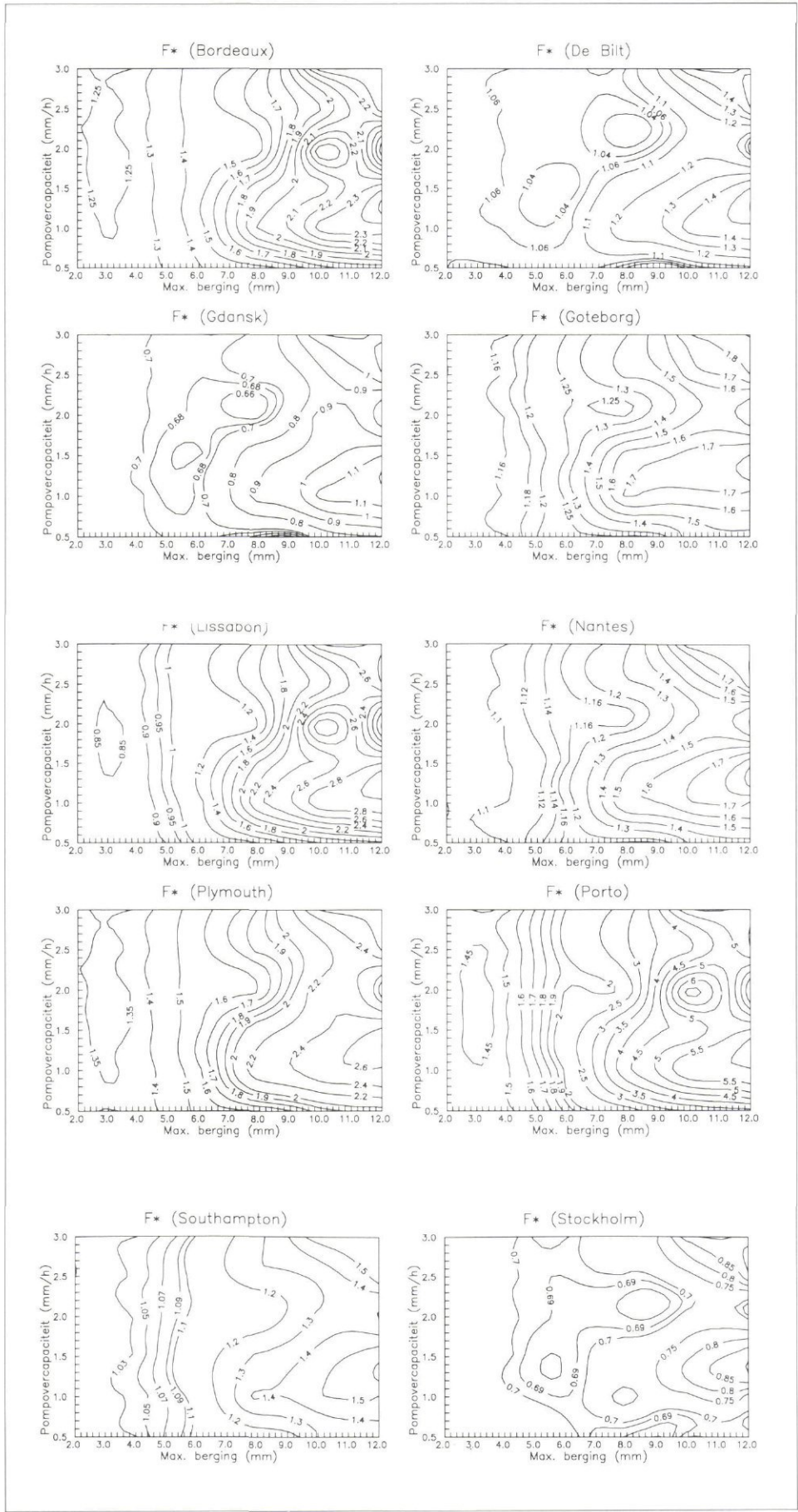
In dit geval is het onbetrouwbaarheidsniveau de kans dat een verschil, tenminste zo groot als het opgetreden verschil, zou zijn opgetreden als de gemiddelden in werkelijkheid gelijk zouden zijn. Dus, hoe kleiner het onbetrouwbaarheidsniveau hoe zekerder we zijn dat de gemiddelden verschillend zijn.

De zo gevonden onbetrouwbaarheidsniveaus gelden ook voor de resultaten. Dit is een gevolg van berekening van de overstortingsfrequenties voor de analoge klimaten. Deze osf zijn namelijk verkregen door een lineaire transformatie van het gemiddeld aantal dagen met neerslag boven de drempelwaarde (zie vergelijking 5).

Voor een willekeurig rioolstelsel kan nu bepaald worden hoe de theoretische overstortingsfrequentie verandert als een bepaald analoog klimaat optreedt en voor welk onbetrouwbaarheidsniveau de verandering in osf significant is. Om dit te doen moeten de volgende stappen genomen worden: 1. bepaal met behulp van afbeelding 4 de osf voor de huidige situatie voor de parameters S_{max} en poc ; 2. bepaal met behulp van tabel I wat het nummer is van het rioolstelsel; 3. bepaal met behulp van tabel III met welke drempelwaarde voor de neerslag gerekend is; 4. bepaal met behulp van tabel IV en de gevonden drempelwaarde, voor welke stations de resultaten statistisch verschillend zijn van Lelystad; en 5. bepaal met behulp van afbeelding 5 en vergelijking 6

TABEL III - Pearson correlatie coëfficiënten (R_i) voor de jaarlijkse overstortingsfrequentie en het aantal dagen met neerslag $> dr_i$ mm; de drempelwaarde voor de neerslag (dr_i); en de geschatte regressiecoëfficiënt ($\hat{a}_i$) voor de 36 stelsels.

i	R_i	dr_i (mm)	$\hat{a}_i$	i	R_i	dr_i (mm)	$\hat{a}_i$	i	R_i	dr_i (mm)	$\hat{a}_i$
1	0,89	6	1,28	13	0,70	6	0,72	25	0,67	6	0,43
2	0,94	6	0,69	14	0,84	6	0,32	26	0,73	6	0,19
3	0,93	8	0,61	15	0,76	10	0,35	27	0,74	9	0,15
4	0,92	10	0,54	16	0,74	15	0,47	28	0,71	13	0,17
5	0,92	13	0,61	17	0,68	16	0,32	29	0,84	15	0,17
6	0,87	14	0,49	18	0,64	17	0,25	30	0,68	17	0,21
7	0,87	6	0,95	19	0,69	6	0,57	31	0,76	6	0,38
8	0,86	6	0,46	20	0,82	6	0,25	32	0,66	6	0,15
9	0,79	9	0,46	21	0,73	9	0,19	33	0,66	9	0,12
10	0,91	16	1,07	22	0,81	10	0,12	34	0,73	12	0,12
11	0,88	19	1,00	23	0,87	22	0,54	35	0,82	17	0,24
12	0,95	19	0,62	24	0,79	13	0,09	36	0,70	17	0,17



Afb. 5 - Resultaten voor de relatieve overstortingsfrequenties voor de stations in afb. 2.

de verandering in de theoretische overstortingsfrequentie (osf), houdt daarbij rekening met stap 4.

4. Discussie van de resultaten

Om voor een bepaald stelsel te bepalen of de resultaten significant verschillen van Lelystad moet tabel IV nader bestudeerd worden tezamen met de gegevens in tabel I en tabel III. Wanneer we bijvoorbeeld aannemen dat een onbetrouwbaarheidsniveau van 0.10 de grens is voor wat statistisch wel of niet significant verschillend is van Lelystad, dan kan het volgende opgemerkt worden over de resultaten:

- de resultaten voor De Bilt zijn alleen voor de ruim gedimensioneerde stelsels (lage osf) significant verschillend van Lelystad;
- de resultaten voor Bordeaux, Plymouth en Porto zijn voor alle stelsels significant verschillend van Lelystad;
- de resultaten voor Göteborg zijn voor alle, behalve een, significant verschillend van Lelystad;
- de resultaten voor Gdansk en Stockholm zijn alleen voor krap gedimensioneerde stelsels significant verschillend van Lelystad;
- de resultaten voor Lissabon, Nantes en Southampton geven een minder duidelijk beeld; vooral voor de ruimer gedimensioneerde stelsels zijn de verschillen met Lelystad significant.

Met name voor de hoge drempelwaarden moet men voorzichtig zijn met het trekken van conclusies. De beschouwde reeks-lengte is eigenlijk te kort om representatief te kunnen zijn voor de werkelijke kansverdeling van het aantal dagen in een jaar met extreem hoge neerslag. Wanneer we afbeelding 5 bestuderen dan valt het volgende op:

- Gdansk en Stockholm zijn de enige twee stations met overstortingsfrequenties die overwegend kleiner zijn dan die van Lelystad;
- Porto geeft extreem hoge overstortingsfrequenties met name voor de ruim gedimensioneerde stelsels;
- Lelystad en De Bilt komen, zoals verwacht, goed overeen.

De resultaten voor Gdansk en Stockholm zijn waarschijnlijk het gevolg van de geografische ligging van deze steden. Omdat deze steden verder naar het oosten liggen dan de overige steden heeft het klimaat een meer continentaal karakter. De extreem hoge overstortingsfrequentie voor Porto kan ook door zijn geografische ligging verklaard worden. Porto ligt aan de voet van een berggebied. De van de Atlantische Oceaan afkomstige lucht wordt

TABEL IV - Onbetrouwbaarheidsniveaus waarvoor de gemiddelden van het jaarlijkse aantal dagen met neerslag groter dan de drempelwaarde (dr) verschillen van die van Lelystad.

dr	Bord.	Bilt	Gdan.	Göte.	Liss.	Nant.	Plym.	Port.	Sout.	Stock
6	0,00	0,31	0,00	0,03	0,09	0,21	0,00	0,00	0,61	0,00
8	0,00	0,45	0,00	0,01	0,68	0,09	0,00	0,00	0,22	0,00
9	0,00	0,59	0,00	0,01	0,21	0,10	0,00	0,00	0,20	0,00
10	0,00	0,82	0,00	0,03	0,15	0,17	0,00	0,00	0,16	0,00
12	0,00	0,60	0,04	0,01	0,00	0,06	0,00	0,00	0,05	0,04
13	0,00	0,78	0,07	0,01	0,00	0,07	0,00	0,00	0,04	0,04
14	0,00	0,28	0,18	0,01	0,00	0,05	0,00	0,00	0,06	0,07
15	0,00	0,46	0,44	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,08	0,12
16	0,00	0,23	0,72	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,02	0,18
17	0,00	0,03	0,64	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,49
18	0,00	0,02	0,59	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,25
19	0,00	0,04	0,49	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,18
22	0,00	0,04	0,86	0,09	0,00	0,15	0,00	0,00	0,20	0,18

daardoor omhoog gedwongen wat leidt tot orografische effecten.

Wanneer we De Bilt, Porto, Gdansk en Stockholm even buiten beschouwing laten, kunnen we een schatting maken van de onder- en bovengrens van een toekomstige verandering in de overstortingsfrequentie. Als we ons even beperken tot die stelsels waarvoor de huidige theoretische overstortingsfrequentie groter is dan 7/jaar (zie afb. 4) dan wordt de ondergrens gegeven door de resultaten voor Lissabon, Nantes en Southampton (afhankelijk van het feit of de resultaten van deze stations significant verschillen van Lelystad) en de bovengrens door de resultaten voor Plymouth. De ondergrens varieert tussen een afname van 15% tot een toename van 30%. De bovengrens geeft een toename in osf van 35 tot 130%.

De marge tussen de onder- en bovengrens is nogal groot. Verder zal deze grens natuurlijk variëren al naar gelang meer of minder steden in de analyse betrokken worden. Voor het moment echter geven de resultaten een redelijke indruk van de grenzen waarbinnen de mogelijke gevolgen voor de osf kunnen liggen.

5. Conclusies en aanbevelingen

De belangrijkste conclusie die hier getrokken kan worden is dat een toekomstige klimaatverandering belangrijke gevolgen kan hebben voor de overstortingsfrequenties van rioolstelsels. Aangezien de levensduur van een rioolstelsel en de termijn waarop een eventuele klimaatverandering zou kunnen optreden van dezelfde orde van grootte zijn, is het misschien verstandig om reeds nu bij het ontwerp van rioolstelsels rekening te houden met mogelijke toekomstige aanpassingen door klimaatveranderingen.

Dit zou ook in overeenstemming zijn met het beleid van de regering zoals beschreven in de nota Klimaatverandering: 'In afwachting van de resultaten van regionale klimaatmodellen moet voorlopig worden volstaan met het vergroten van

het vermogen van de huidige systemen om veranderingen op het gebied van de temperatuur, waterhuishouding, kustverdediging en natuur te kunnen opvangen.' [Tweede Kamer, 1991].

6. Verantwoording

Dit onderzoek vormt een onderdeel van het promotie-onderzoek van de auteur aan de TU-Delft. De titel van dat onderzoek is: 'De Hydrologische Gevolgen van Klimaatverandering: een Gevoeligheidsstudie voor Nederland.' Een woord van dank is verschuldigd aan dr. ir. Tj. A. Buishand en prof. dr. ir. J. C. van Dam voor hun opbouwend commentaar op het manuscript.

Literatuur

Brandsma, T. (1993). *Sewer systems and climate change*. Verslagen en mededelingen van de vakgroep Gezondheidstechniek en Waterbeheersing, no. 48, Technische Universiteit Delft, 58 pp.

Buishand, T. A. (1979). *Urbanization and Changes in Precipitation, a Statistical Approach*. Journal of Hydrology, 40, 365-375.

Buishand, T. A. (1985). *De invloed van regionale verschillen in het voorkomen van zware neerslaggebeurtenissen op de berekende gemiddelde overstortingsfrequentie*. NWRW-rapport 4.1, Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieu-beheer, 's-Gravenhage.

Parmet, B. W. A. H., Stricker, J. N. M. en Warmerdam, P. M. M. (1991). *Een beschouwing van de hydrologische effecten in het Hupselse Beekgebied ten gevolge van een hypothetische klimaatverandering*. H₂O (24) 1991, nr. 21.

Tweede Kamer (1991). *Nota Klimaatverandering, vergaderjaar 1990-1991, 22232, nrs. 1-2*. 's-Gravenhage.

Ven, F. H. M. van de (1989). *Van neerslag tot rioolloop in vlak gebied*, dissertatie. Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Rijkswaterstaat, directie Flevoland, Lelystad, 263 pp.

Waggoner, P. E. (1989). *Anticipating the Frequency Distribution of Precipitation if Climate alters its mean*. Agricultural and Forest Meteorology, 47, 321-337.

Witter, J. V. (1984). *Heterogeneity of Dutch Rainfall*, dissertatie. Landbouwniversiteit Wageningen, Wageningen, 204 pp.



Provinciale commissie voor milieu en water is tegen invoering van rijksbelasting op grondwater

De Provinciale commissie voor milieu en water Noord-Brabant (pcmw) heeft in haar vergadering van 4 november 1993 kennisgenomen van de aan de leden van de Tweede Kamer gerichte brief van 13 oktober 1993 van het college van Gedeputeerde Staten van Noord-Brabant, het wetsontwerp 'Wet op de verbruiksbelasting op milieugrondslag'.

De pcmw staat unaniem achter de mening van het provinciaal bestuur van Noord-Brabant.

Zij heeft de leden van de Eerste en Tweede Kamer der Staten Generaal dringend verzocht de zienswijze en argumenten van het provinciaal bestuur te betrekken in hun definitieve oordeel over genoemd wetsontwerp.

De pcmw is van mening, dat de invoering van een rijksbelasting op grondwater haaks staat op het provinciale beleid. Het wetsvoorstel gaat uit van het met name belasten van het hoogwaardig gebruik van grondwater, terwijl andere activiteiten in het kader van laagwaardig grondwatergebruik worden vrijgesteld of niet worden meegenomen in de regeling.

Het grondwaterbeleid behoort tot de taak van de provincies. Het provinciale beleid gaat er juist vanuit dat grondwater bestemd wordt voor hoogwaardige doeleinden, zoals voor de drinkwatervoorziening. Het laagwaardig gebruik, zoals voor koelwater en beregening, moet zoveel mogelijk worden afgebouwd. Met de voorgestelde regeling wordt het aantrekkelijk gemaakt om 'goedkoop' grondwater te gebruiken voor laagwaardige doeleinden.

In het wetsvoorstel worden beregeningsinstallaties uitgezonderd van de belasting, omdat die installaties niet te bemeteren zouden zijn. De praktijk heeft uitgewezen, dat bemeteren goed uitvoerbaar is.

Momenteel worden onttrekkingsgegevens geregistreerd op basis van de grondwaterwet. Zij is van mening, dat de eventuele regels in de belastingwet in overeenstemming moeten worden gebracht met de bestaande regels van de Grondwaterwet, omdat er anders twee registratie- en invorderingssystemen ontstaan, wat tot verspilling en grote afstemmingsproblemen kan leiden.

De pcmw maakt bezwaar tegen het wetsvoorstel als zodanig, omdat de opbrengst van de voorgenomen belasting niet ten goede komt van het milieu i.c. aan projecten en maatregelen ter bestrijding van verdroging. (Persbericht pcmw)