



Adri Buishand, Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut
Janet Wijngaard, Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut

Statistiek van extreme neerslag voor het stedelijk waterbeheer

Drie jaar geleden werd een nieuwe statistiek van extreme neerslaghoeveelheden voor De Bilt gepresenteerd^{1),2)}. Deze had betrekking op neerslagduren van vier uur tot negen dagen. Met name voor het stedelijk waterbeheer zijn de extremen voor kortere uren dan vier uur van belang. In dit artikel wordt een statistiek gegeven van de extreme neerslag voor neerslagduren van vijf tot 120 minuten, die aansluit op de statistiek voor de langere uren.

Het stedelijk waterbeheer staat momenteel sterk in de belangstelling³⁾. In Nederland wordt het regulier functioneren van het rioolstelsel getoetst met een ontwerpbum die gemiddeld ongeveer eens per twee jaar voorkomt. Bij zwaardere buien zal gedurende enige tijd water op straat blijven staan, wat tot min of meer ernstige hinder (gemiddeld eens in de tien tot 25 jaar) of tot economische schade kan leiden (gemiddeld eens in ongeveer 50 jaar), bijvoorbeeld door het onderlopen van gebouwen of door langdurige stremming van wegen⁴⁾. Door de snelle afvoer van water over verhard oppervlak zijn extreme neerslaghoeveelheden over korte tijdsduren maatgevend. Behalve in rioolstelsels kunnen zware kortdurende buien ook tot wateroverlast leiden in kassencomplexen en tunnels. Daarnaast bestaat interesse voor neerslaggebeurtenissen die gemiddeld eens in de 100 jaar of nog minder vaak voorkomen.

Het werk van Braak⁵⁾ uit 1933 over het neerslagklimaat van Nederland bevatte reeds een uitvoerige statistiek van de extreme neerslag voor zowel de korte uren (enkele minuten tot enkele uren) als de lange uren (één tot meerdere dagen). Deze statistiek is tot ver in de 20e eeuw gebruikt. Een nieuwere versie van de extreme waardenstatistiek werd gepresenteerd in het boek van Buishand en Velds uit 1980⁶⁾. Zowel bij Braak als bij Buishand en Velds is de statistiek voor korte uren gebaseerd op de registraties van zelfregistrerende regenmeters (pluviograven). De uursommen uit deze registraties werden routinematig digitaal vastgelegd. Voor De Bilt is daardoor een reeks van uursommen van de neerslag vanaf 1906 beschikbaar. Op deze reeks is de meest recente extremenstatistiek van het KNMI gebaseerd¹⁾. Voor de korte neerslag-

duren in dit artikel was het nodig terug te vallen op de neerslagstroken van de pluviograven.

Methoden

Voor de extreme waardenstatistiek in Buishand en Velds werd uit de neerslagstroken van De Bilt een aparte dataset aangemaakt bestaande uit de maximale neerslaghoeveelheden per jaar (kortweg: de jaarmaxima) voor uren van 5, 10, 15, 30, 60 en 120 minuten voor het tijdvak 1906-1977. Deze dataset is voor dit onderzoek aangevuld met de data uit de jaren 1978-1990, waardoor we dus voor elk van de zes neerslagduren een reeks hebben van 85 jaarmaxima.

Evenals bij de meest recente statistiek voor neerslagduren van vier uur en langer^{1),2)} is de kansverdeling van de jaarmaxima voor de afzonderlijke neerslagduren door een zogeheten Generalized Extreme Value (GEV)-verdeling beschreven. Deze heeft drie parameters. De vormparameter bepaalt in sterke mate de kans op uitzonderlijk hoge neerslaghoeveelheden (gemiddeld eens in de 100 jaar of nog uitzonderlijker). Als deze

parameter gelijk aan nul is, dan gaat de GEV-verdeling over in de Gumbel-verdeling, die bij de extreme waardenstatistiek van Buishand en Velds is gebruikt. Voor korte neerslagduren bleek de vormparameter echter vaak negatief^{7),8)}. De aanname van een Gumbel-verdeling onderschat dan de kans op uitzonderlijk hoge neerslaghoeveelheden.

Hoewel de gebruikte reeks van De Bilt 85 jaar lang is, bevat deze reeks toch te weinig gegevens om de vormparameter van de GEV-verdeling voldoende nauwkeurig te schatten. Op basis van de tien minutenwaarden van 22 stations in België (625 stationsjaren) laat Gellens⁹⁾ zien dat de vormparameter voor neerslagduren van tien minuten tot 24 uur weinig varieert en gemiddeld ongeveer -0.09 bedraagt. Van deze waarde is bij de extreme waardenstatistiek voor neerslagduren van vier tot 24 uur uitgegaan¹⁾. Ook hier wordt voor de kortere neerslagduren aangehouden dat de vormparameter gelijk is aan -0.09. Hierbij wordt aangenomen dat de vormparameter binnen Nederland en België niet of nagenoeg

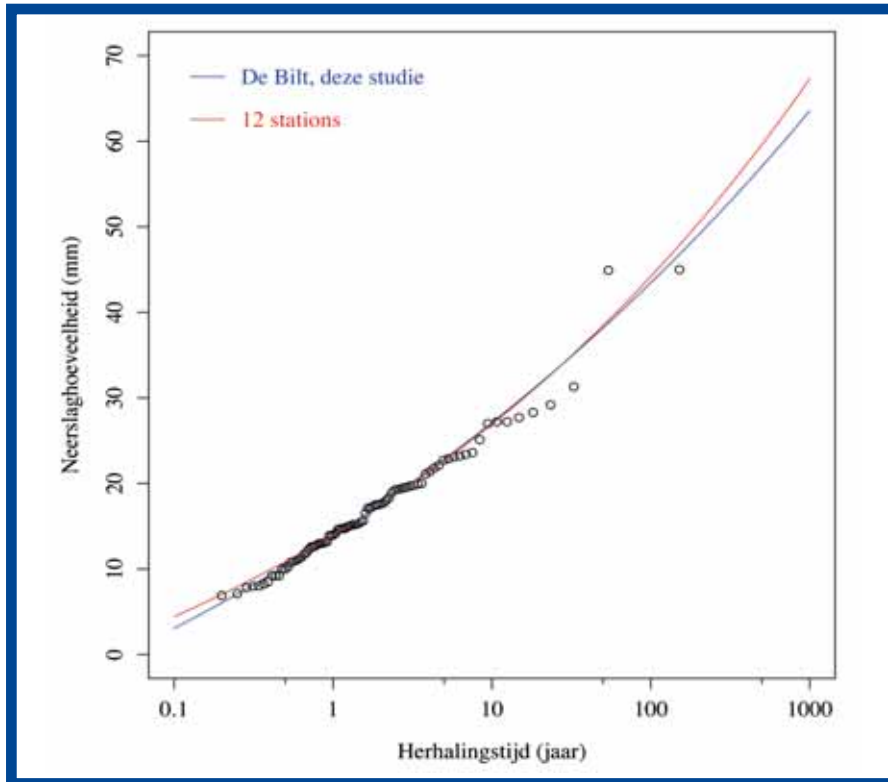
De GEV-verdeling is afkomstig uit de wiskundige theorie over limietverdelingen voor maxima. De stochastische variabele X heeft een GEV-verdeling als:

$$\Pr(X \leq x) = \exp\{-[1 - \Theta(x/\lambda - 1)/\gamma]^{1/\Theta}\} \quad \text{voor } \Theta \neq 0$$

Voor $\Theta = 0$ nemen we de limiet $\Theta \rightarrow 0$, wat tot de Gumbel-verdeling leidt:

$$\Pr(X \leq x) = \exp\{-\exp[-(x/\lambda - 1)/\gamma]\}$$

Hierin is λ de locatieparameter, γ een dispersiecoëfficiënt en Θ de vormparameter. De locatieparameter bepaalt in sterke mate het gemiddelde. Er geldt $\Pr(X \leq \lambda) = e^{-1} \approx 0.37$. De dispersiecoëfficiënt is een maat voor de relatieve variabiliteit van de jaarmaxima. Deze is maximaal bij uren van tien en 15 minuten.



Afb. 1: Waarschijnlijkheidsplot van de jaarmaxima van de 60 minuten-hoeveelheden van De Bilt (1906-1990) met gefitte GEV-verdeling en een GEV-verdeling op basis van de uurwaarden van twaalf stations in Nederland¹³⁾.

Tabel 1. Neerslaghoeveelheden (in mm) die gemiddeld eens in de zoveel jaar in een gegeven tijdsduur worden overschreden.

	minuten					
	5	10	15	30	60	120
0,5 jaar	4	5	6	8	10	13
1 jaar	5	7	9	11	14	17
2 jaar	7	10	11	14	18	21
5 jaar	9	13	15	19	23	26
10 jaar	11	15	18	23	27	31
20 jaar	12	18	21	27	32	36
50 jaar	15	21	26	32	38	42
100 jaar	17	25	29	37	43	48
200 jaar	-	28	33	42	49	54
250 jaar	-	29	34	43	51	56
500 jaar	-	32	39	49	57	62
1000 jaar	-	36	43	54	64	69

Tabel 2. Vergelijking tussen de neerslaghoeveelheden (in mm) die gemiddeld eens in de zoveel jaar in tien en 60 minuten worden overschreden volgens de nieuwe en de oude statistieken van Buishand en Velds⁶⁾ (herhalings-tijden van 0,5 tot 100 jaar) en Braak⁵⁾ (voor eens in de 250 jaar).

	10 minuten		60 minuten	
	oud	nieuw	oud	nieuw
0.5 jaar	6	5	10	10
1 jaar	8	7	14	14
2 jaar	10	10	18	18
5 jaar	13	13	23	23
10 jaar	15	15	27	27
20 jaar	17	18	30	32
50 jaar	20	21	36	38
100 jaar	23	25	39	43
250 jaar	23	29	57	51

niet varieert. Eerder onderzoek laat zien dat dit een vrij redelijke aanname is^{9),10)}.

De andere twee parameters van de GEV-verdeling werden wel geschat op basis van de 85 jaarmaxima voor De Bilt. In tegenstelling tot de vormparameter hangen de waarden van deze parameters van de neerslagduur af. Deze afhankelijkheid werd beschreven door kwadratische functies van de logaritme van de neerslagduur. Nadere informatie hierover is te vinden in het technische rapport dat aan dit artikel ten grondslag ligt¹¹⁾.

Resultaten

Tabel 1 geeft een overzicht van de neerslaghoeveelheden die gemiddeld twee maal per jaar tot eens in de 1000 jaar worden overschreden voor duren van 5, 10, 15, 30, 60 en 120 minuten. Hoewel de GEV-verdeling op de jaarmaxima is aangepast, heeft de herhalingstijd betrekking op de gemiddelde duur (in jaren) tussen twee opeenvolgende overschrijdingen in de partiële duurreeks. Deze bevat alle onafhankelijke gebeurtenissen uit de oorspronkelijke reeks. De gemiddelde herhalingstijd is gekoppeld aan de overschrijdingsfrequentie van de jaarmaxima via de relatie van Langbein¹²⁾. Voor de vijf minuten-hoeveelheden zijn geen waarden opgegeven bij herhalingstijden van meer dan 100 jaar vanwege de grote onzekerheid omtrent de vormparameter voor deze duur. De aanname dat deze parameter gelijk is aan -0.09, was immers gebaseerd op onderzoek voor duren van tien minuten en langer.

Het is interessant om de statistiek in tabel 1 te vergelijken met eerder gepubliceerde getallen. Tabel 2 laat zien dat voor gebeurtenissen van gemiddeld twee maal per jaar tot eens in de tien jaar de nieuwe waarden nagenoeg gelijk zijn aan die van Buishand en Velds. Voor de iets zeldzamere gebeurtenissen liggen de nieuwe waarden iets hoger. De verschillen lopen op tot ongeveer tien procent voor eens in de 100 jaar. De oorzaak hiervan is dat Buishand en Velds van de Gumbel-verdeling zijn uitgegaan, terwijl in deze studie een GEV-verdeling met negatieve vormparameter is gebruikt. Herhalingstijden groter dan 100 jaar worden door Buishand en Velds niet beschouwd. Het werk van Braak geeft voor verschillende duren de neerslaghoeveelheden die gemiddeld eens in de 250 jaar worden overschreden. Voor een duur van tien minuten is deze 250 jaar-gebeurtenis zes millimeter (ruim 20 procent) lager en voor 60 minuten zes millimeter (ongeveer tien procent) hoger dan de nieuwe waarden. De oorzaak van deze verschillen is niet duidelijk.

Recentelijk is door Overeem e.a.¹³⁾ een extreme waardenstatistiek vervaardigd voor duren van 60 minuten tot 24 uur op basis van de uurwaarden van twaalf stations verspreid over Nederland (in totaal 514 stations-jaren). De GEV-verdeling voor een duur van 60 minuten uit dat onderzoek wordt in afbeelding 1 vergeleken met de gefitte GEV-verdeling aan de 60 minuten-waarden van De Bilt in dit artikel. Tussen de twee verdelingen bestaat een sterke overeen-



Ondergelopen straat.

komt. Bovendien sluiten beide verdelingen goed aan bij de geordende jaarmaxima van De Bilt. De horizontale as in afbeelding 1 is zodanig gekozen dat een rechte lijn zou worden verkregen in het geval van de Gumbel-verdeling. Een GEV-verdeling met negatieve vormparameter leidt tot een naar boven gebogen curve.

Onzekerheden en representativiteit

De getallen in tabel 1 zijn afgeleid uit een GEV-verdeling met bekende parameters. In feite zijn de jaarmaxima van De Bilt gebruikt om een redelijke schatting van twee van de drie GEV-parameters te krijgen en is de derde GEV-parameter ontleend aan onderzoek in België op basis van de jaarmaxima van 22 stations. Voor de neerslaghoeveelheden in tabel 1 kan een standaardafwijking berekend worden die de onzekerheid weergeeft als gevolg van het gebruik van de geschatte waarden van de GEV-parameters in plaats van de werkelijke waarden¹¹⁾. Deze standaardafwijking bedraagt vier tot zes procent voor herhalingstijden van tien jaar of minder, ongeveer acht procent voor $T = 100$ jaar en ongeveer tien procent voor $T = 1000$ jaar. Voor de hogere herhalingstijden (meer dan 20 jaar) is er nog een extra onzekerheid, doordat de werkelijke verdeling van de jaarmaxima kan afwijken van de GEV-verdeling. Daarnaast houden bovengenoemde onzekerheden geen rekening met fouten in de jaarmaxima zelf (meetfouten, en bij de kortste duren ook afleesfouten van de neerslagstroken).

Recentelijk is een aantal vraagtekens geplaatst achter de representativiteit van de

neerslagstatistiek van De Bilt voor andere plaatsen in Nederland^{14),15)}. Ook kan men zich afvragen in hoeverre de neerslagstatistiek in de tijd verandert. Vanwege de beperkte omvang van het gegevensbestand voor korte duren zijn regionale verschillen moeilijk te onderkennen. Afbeelding 1 laat zien dat weinig verschil bestaat tussen de statistiek uit de neerslagstroken van 1906-1990 voor De Bilt en die op basis van de uurwaarden van meerdere stations waarin het tijdvak 1975-2005 zwaar doorweegt. Hoewel er geen duidelijke trend is in de afgelopen eeuw wat de jaarmaxima betreft, is het te verwachten dat in de toekomst systematische veranderingen optreden vanwege het versterkte broeikaseffect. Groen¹⁶⁾ geeft voor een viertal toekomstige scenario's (de KNMI'06-klimaat-scenario's) een eerste schatting van de extreme neerslaghoeveelheden voor duren van 60 minuten tot 24 uur.

LITERATUUR

- 1) Smits A., J. Wijngaard, R. Versteeg en M. Kok (2004). Statistiek van extreme neerslag in Nederland. STOWA. Rapport 2004-26.
- 2) Wijngaard J., M. Kok, A. Smits en M. Talsma (2005). Nieuwe statistiek voor extreme neerslag. *H₂O* nr. 6, pag. 35-37.
- 3) Van Luijtelaar H. en F. Clemens (2007). Klimaatontwikkeling: anticiperen op extreme buien in de bebouwde omgeving. *H₂O* nr. 2, pag. 14-16.
- 4) Van Luijtelaar H. (2006). Stedelijke wateropgave: vergelijking normen voor water op straat en inundatie. Notitie Stichting RIONED.
- 5) Braak C. (1933). Het klimaat van Nederland A (volg): Neerslag, eerste gedeelte. KNMI Mededelingen en Verhandelingen 34a.

- 6) Buishand A. en C. Velds (1980). Klimaat van Nederland 1: Neerslag en verdamping. KNMI.
- 7) Schaefer M. (1990). Regional analyses of precipitation annual maxima in Washington State. *Water Resources Research* (26), nr. 1, pag. 119-131.
- 8) Madsen H., P. Mikkelsen, D. Rosbjerg and P. Harremoës (2002). Regional estimation of rainfall intensity-duration-frequency curves using generalized least squares regression of partial duration series statistics. *Water Resources Research* (38) nr 11, 1239.
- 9) Gellens D. (2003). Etude des précipitations extrêmes: Etablissement des fractiles et des périodes de retour d'événements pluviométriques. Thèse de doctorat. Université Libre de Bruxelles.
- 10) Buishand A. (1991). Extreme rainfall estimation by combining data from several sites. *Hydrological Sciences Journal* (36), nr. 4, pag. 345-365.
- 11) Buishand A. en J. Wijngaard (2007). Statistiek van extreme neerslag voor korte neerslagduren. KNMI. Technical report TR-295.
- 12) Beran M. en M. Nozdryn-Plotnicki (1977). Estimation of low return period floods. *Hydrological Sciences Bulletin* (XXII), nr. 2, pag. 275-282.
- 13) Overeem A., A. Buishand en I. Holleman (2008). Rainfall depth-duration-frequency curves and their uncertainties. *Journal of Hydrology* (348), nr. 1-2, pag. 124-134.
- 14) Hoes O., J. Biesma, K. Stoutjesdijk en F. van Kruiningen (2005). Invloed van de zee op de neerslagverdeling en de frequentie van wateroverlast. *H₂O* nr. 1, pag. 32-34.
- 15) Diermanse F., H. Ogink, J. van Dansik en E. Goudemans (2005). Neerslagstatistiek, extreem gevoelig? *H₂O* nr. 17, pag. 25-27.
- 16) Groen G. (2007). Extreme zomerneerslag 2006 en klimaatscenario's. KNMI. Publicatie 215.