

## ***Nieuwe statistiek voor extreme neerslag***

J.B. Wijngaard (KNMI)

M. Kok (HKV LIJN IN WATER)

A. Smits (KNMI)

M. Talsma (STOWA)

### **Samenvatting**

In dit artikel wordt de nieuwe statistiek voor extreme neerslaghoeveelheden voor De Bilt gepresenteerd. De belangrijkste wijzigingen ten opzichte van de oude KNMI-statistiek zijn dat aanzienlijk meer gegevens zijn meegenomen en dat een andere type kansverdeling is gebruikt om de extreme neerslaghoeveelheden af te leiden. In dit artikel wordt ook aandacht besteed aan de representativiteit van De Bilt voor geheel Nederland. Ook wordt de hier gepresenteerde statistiek geplaatst in het licht van klimaatveranderingen.

### **Inleiding**

Het regionale watersysteem is de laatste jaren herhaaldelijk kwetsbaar gebleken voor extreme regenval. Bijvoorbeeld de extreme neerslaggebeurtenissen in het najaar van 1998 hebben tot aanzienlijke wateroverlast en grote financiële schade geleid. Voor het waterbeheer is het dan ook essentieel om een goed beeld te hebben van de frequentie van voorkomen van extreme neerslaggebeurtenissen. Niet alleen voor het beheren van het regionale watersysteem is degelijke kennis over de statistiek van extreme neerslag van groot belang, maar ook voor het ontwerpen en toetsen ervan aan de werknormen zoals die zijn vastgesteld in het Nationaal Bestuursakkoord Water (NBW).

Reeds in de jaren tachtig is door Buishand en Velds [1,3] voor dergelijke doeleinden statistiek ontwikkeld op basis van de neerslagreeksen van De Bilt. Recent is nieuwe statistiek ontwikkeld [8] die in dit artikel kort wordt toegelicht. Aan bod komen gebeurtenissen die in duur variëren van 4 uur tot 9 dagen en in overschrijdingsfrequentie van 10x per jaar tot 1x per 1000 jaar. Ook is bekeken in hoeverre de statistiek voor De Bilt gebruikt kan worden voor andere locaties in Nederland. Gezien de verwachte klimaatverandering in de toekomst wordt de statistiek ook in dat perspectief geplaatst. Omdat per seizoen de neerslag verschilt van karakter is in [8] behalve jaarstatistiek ook seizoensstatistiek afgeleid (voor het groeiseizoen, buiten het groeiseizoen en voor de oogstperiode), maar in dit artikel wordt daaraan geen aandacht besteed.

### **Gegevens**

Voor het onderzoek zijn de uurlijkse neerslaghoeveelheden van De Bilt van 1906 tot en met 2003 gebruikt. Alle urengegevens tot 1 maart 1993 zijn afkomstig van de pluviograaf en vanaf deze datum van de elektrische regenmeter. Bekend is dat de standaard handregenmeters die eenmaal per dag worden geleegd neerslaghoeveelheden nauwkeuriger registreren. Daarom zijn de uurreksen gecorrigeerd op basis van de handtappingen.

In het KNMI rapport [7] is vanaf 1906 een duidelijke positieve trend in de jaarsommen binnen Nederland gesignaleerd. Daarom is onderzocht of een dergelijke trend ook zichtbaar is in de extreme neerslaghoeveelheden. Uit onze analyse blijkt dat in de extremen van De Bilt geen statistisch significante trends aantoonbaar zijn. Bekend is daarnaast dat de statistische betrouwbaarheid van de resultaten toeneemt bij toenemende reekslengte. Om deze redenen is besloten om de gehele reeks van 1906 tot en met 2003 te gebruiken voor de verdere analyse.

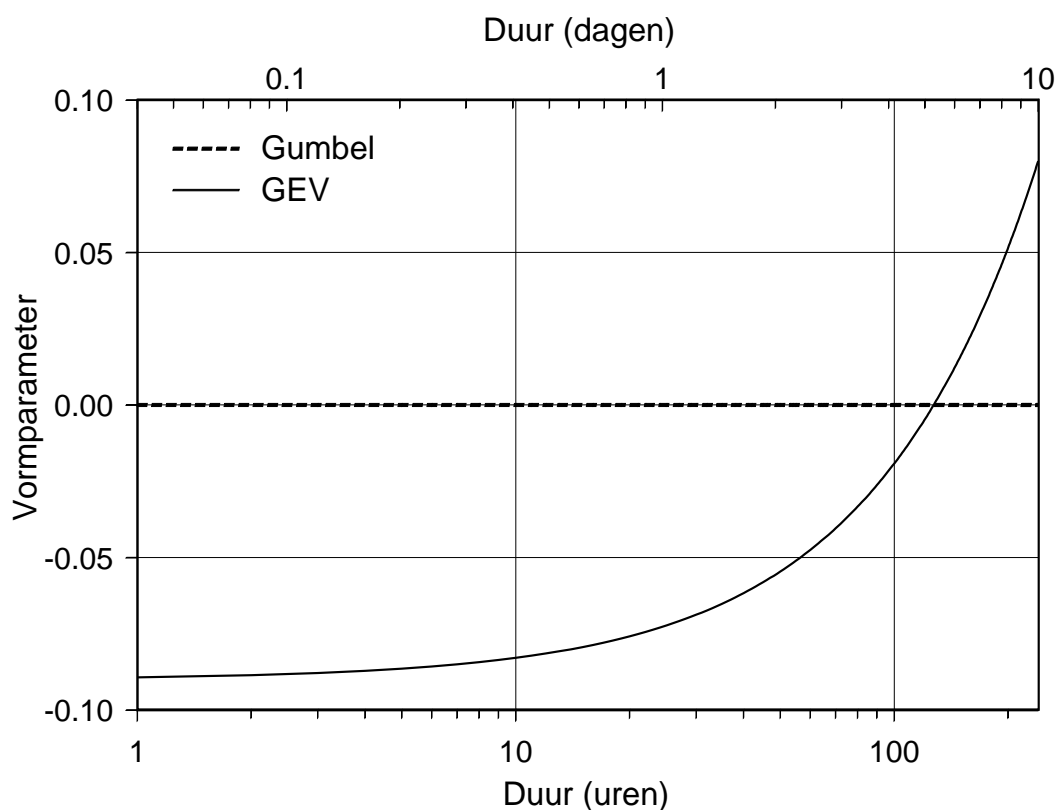
## Methode

Om te komen tot een betrouwbare statistiek is onderzocht welke type kansverdeling het beste past bij de waargenomen neerslagreeks van De Bilt. Hiervoor is onderscheid gemaakt tussen relatief hoge en lage overschrijdingsfrequenties. Hoge overschrijdingsfrequenties zijn de relatief vaak voorkomende gebeurtenissen en deze worden gemiddeld 10x per jaar tot 2x per jaar overschreden. Lage overschrijdingsfrequenties zijn de meer zeldzame gebeurtenissen die gemiddeld eens per honderd jaar worden overschreden tot echt zeldzame gebeurtenissen die gemiddeld eens per 1000 jaar worden overschreden.

### *Relatief lage overschrijdingsfrequenties*

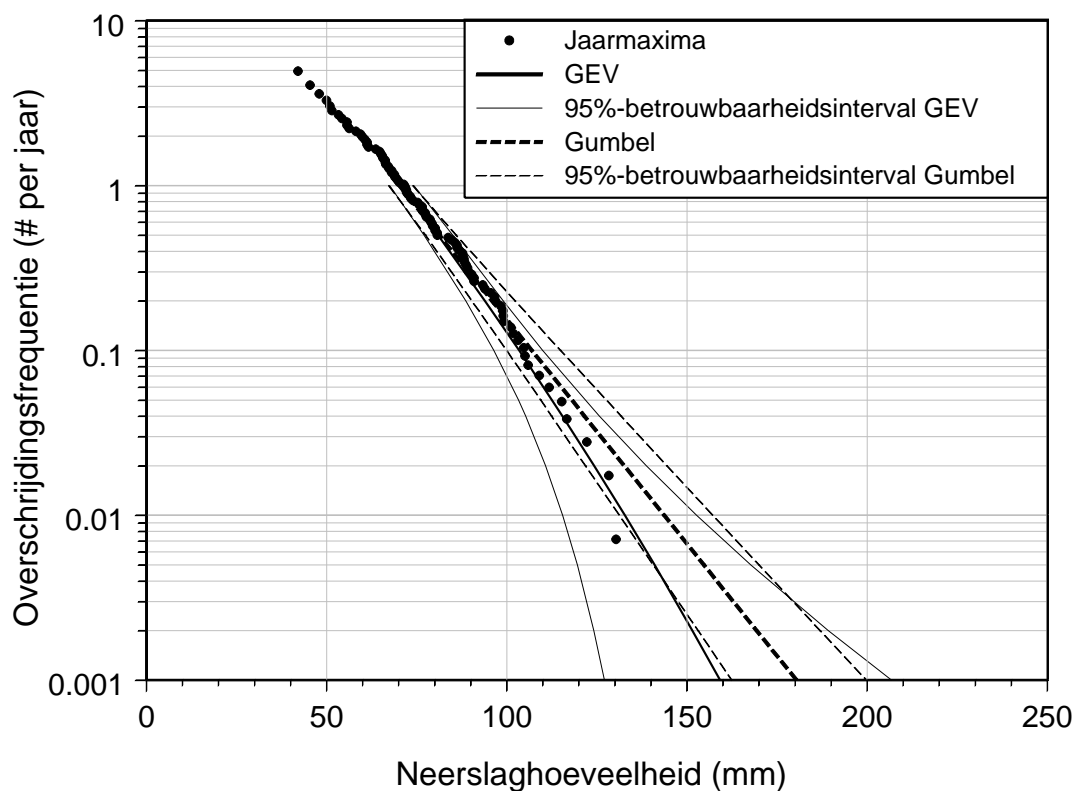
Voor de lage overschrijdingsfrequenties is voor elk jaar het maximum geselecteerd voor de desbetreffende neerslagduur. Op deze wijze wordt voor elke duur een reeks van 98 jaarmaxima verkregen. Deze jaarmaxima van de neerslag worden goed beschreven met de GEV verdeling [8]. Deze verdeling heeft in vergelijking met de voorheen gebruikte Gumbel verdeling een extra parameter, de vormparameter (zie bijvoorbeeld [3] en [4]). Recent is de GEV verdeling met een vergelijkbaar doel gebruikt waarbij de vormparameter gebaseerd is op de reeks van De Bilt [9]. Uit de literatuur [2,4] is echter bekend dat het vrijwel onmogelijk is om op basis van een circa honderdjarige reeks van jaarmaxima afkomstig van één station een goede schatting van de vormparameter te geven. Hiervoor kan beter gebruik gemaakt worden van gegevens van meerdere neerslagstations in een gebied waarbij geen ruimtelijke patroon aanwezig is voor deze parameter. Op basis van bevindingen in [2] en [5] is daarom voor de nieuwe neerslagstatistiek een schatter van de vormparameter gegeven. In figuur 1 is te zien dat deze parameter voor duren korter dan ongeveer vijf dagen een negatieve waarde heeft en voor langere duren een positieve waarde. Bij gebruik van de Gumbel verdeling zou de vormparameter een waarde hebben die gelijk is aan 0. Bij negatieve waarden van de vormparameter komen zeer extreme gebeurtenissen vaker voor dan bij de Gumbel verdeling.

In het statistisch onderzoek zijn meerdere kansverdelingen beoordeeld op de vraag of ze de gehanteerde gegevens goed beschrijven, waaronder De GEV-, de Gumbel, de exponentiële en de conditionele Weibull-verdeling. De Gumbel-verdeling is een speciaal geval van de GEV-verdeling met een waarde nul voor de vormparameter. De exponentiële verdeling is een speciaal geval van de conditionele Weibull-verdeling met een waarde van één voor de vormparameter. Uiteindelijk is gekozen voor de GEV-verdeling voor het beschrijven van de lage frequenties (van 1x per jaar tot 1x per 1000 jaar) en de conditionele Weibull-verdeling voor de hoge frequenties (2 x per jaar tot 10x per jaar).



Figuur 1: Vormparameter van de GEV verdeling gemodelleerd voor stations binnen Nederland voor 1 uur tot 10 dagen. Ter vergelijking is ook de Gumbel-lijn weergegeven.

De andere twee parameters, de locatie- en schaalparameter, zijn per duur afzonderlijk bepaald op basis van de reeks van De Bilt. Hiermee is echter niet gegarandeerd dat er consistentie bestaat in de neerslaghoeveelheden tussen de verschillende uren. Bij een toenemende duur wordt immers een steeds hogere neerslaghoeveelheid verwacht, maar door de statistische onzekerheid in de schattingen van de parameters is dit niet altijd het geval (ook in [9] treden dergelijke inconsistenties op). Daarom zijn de achterliggende parameters van de GEV zodanig gemodelleerd dat bij toenemende duur de waarde van de parameters toeneemt en daarmee ook de neerslaghoeveelheid. Hierdoor ontstaat een goede samenhang tussen de uren en neemt tevens de statistische betrouwbaarheid van de schatting van de parameters toe. In figuur 2 zijn de jaarmaxima voor achtdaagse neerslaghoeveelheden geploteerd en de daaraan gefitte GEV verdeling inclusief betrouwbaarheidsinterval. Ter vergelijking is ook de Gumbel verdeling geploteerd. De GEV en de Gumbel verdeling gaan sterk uiteen lopen voor de zeldzamere gebeurtenissen. Voor dergelijke gebeurtenissen is het betrouwbaarheidsinterval van de GEV verdeling behoorlijk breed ten opzichte van die van de Gumbel verdeling als gevolg van de vormparameter. In werkelijkheid is het interval bij de GEV verdeling wat kleiner dan weergegeven doordat gebruik gemaakt is van meerdere stations bij het bepalen van de vormparameter. Het betrouwbaarheidsinterval van de Gumbel verdeling is weliswaar nog wat kleiner, maar hiervan is bekend dat er een duidelijke onderschatting van het betrouwbaarheidsinterval optreedt bij extrapolatie [4].



Figuur 2: Overschrijdingsfrequenties van 8-daagse neerslaghoeveelheden volgens de GEV verdeling en de Gumbel verdeling van De Bilt inclusief 95%-betrouwbaarheidsintervallen. Tevens zijn de jaarmaxima van De Bilt voor het tijdvak 1906-2003 weergegeven.

### *Relatief hoge overschrijdingsfrequenties*

Voor overschrijdingsfrequenties van 10x per jaar tot 2x per jaar is niet uitgegaan van jaarmaxima maar van zogenaamde “partiële reeksen” omdat het bij deze overschrijdingsfrequenties wenselijk is, en bij de hoogste overschrijdingsfrequenties zelfs noodzakelijk, meer dan één neerslaggebeurtenis per jaar te selecteren. Wanneer gebruik gemaakt wordt van partiële reeksen wordt er gebruik gemaakt van een drempelwaarde en worden alle onafhankelijke pieken boven de drempelwaarde geselecteerd. Voor de hogere frequenties blijkt de 3-parameter conditionele Weibull verdeling (CWD) het beste de geselecteerde waarden te modelleren [8]. Voor alle onderzochte duren geeft deze CWD een goed resultaat, terwijl dit niet geldt voor de exponentiële verdeling, die in veel hydrologische toepassingen wordt gebruikt. Verder geeft een drempelwaarde die correspondeert met 10 gebeurtenissen per jaar de beste resultaten. Bij deze waarde wordt een goede balans bereikt tussen systematische afwijking en statistische betrouwbaarheid.

## **Nieuwe statistiek**

De statistiek afgeleid op de reeks van De Bilt volgens de beschreven methode is weergegeven in tabel 1. Voor duren van 4 uur tot 9 dagen is af te lezen welke neerslaghoeveelheden gemiddeld 10x per jaar tot gemiddeld 1x per 1000 jaar overschreden worden. Bij de gebeurtenissen die zeldzamer zijn dan 1x per 100 jaar neemt de betrouwbaarheid snel af, zoals

goed te zien is aan het verbreden van het betrouwbaarheidsinterval in figuur 2. Bij gebruik van aanzienlijk meer gegevens of gebruik van andere technieken, zoals bijvoorbeeld resampling technieken, kan mogelijk een betrouwbaardere inschatting gegeven worden van dergelijke zeldzame gebeurtenissen.

	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

Tabel 1: Neerslaghoeveelheden (mm) voor verschillende uren (4 uur tot 9 dagen) en overschrijdingsfrequenties

De vernieuwde neerslagstatistiek wijkt op twee punten af van de tot nu toe gebruikte statistiek uit de jaren tachtig; enerzijds is de hoeveelheid gebruikte gegevens groter door het verlengen van de reeks met 26 jaar en anderzijds is de toegepaste kansverdeling veranderd. Vooral door het gebruik van een andere kansverdeling zijn er verschillen tussen de oude en nieuwe statistiek. Voor overschrijdingsfrequenties van 1x per jaar en minder worden in tabel 2 enkele resultaten vergeleken met [3]. Tot en met frequenties van 1x per 20 jaar zijn de verschillen erg klein. Bij de meer zeldzame gebeurtenissen valt op dat de hoeveelheden bij korte uren hoger zijn geworden, terwijl de hoeveelheden bij langere uren zijn afgenomen.

	24 uur		9 dagen	
	Buishand en Velds	nieuw	Buishand en Velds	nieuw
1x per jaar	34	33	73	75
1x per 2 jaar	40	39	85	86
1x per 5 jaar	48	47	99	99
1x per 10 jaar	53	54	110	109
1x per 20 jaar	59	61	120	118
1x per 50 jaar	67	71	135	130
1x per 100 jaar	73	79	146	138

Tabel 2: Vergelijking tussen neerslaghoeveelheden (mm) voor 24 uur en 9 dagen uit Buishand en Velds [3] en de hier afgeleide statistiek.

## Representativiteit van De Bilt

Er kan niet zonder meer worden aangenomen dat de afgeleide statistiek representatief is voor heel Nederland. Hoewel Nederland maar een klein land is, bestaan er verschillen in afstand tot de kust, grondsoorten, landgebruik, en in orografie. Al deze factoren kunnen van invloed zijn op het lokale neerslagklimaat. Daarom is de methode zoals die is toegepast op de uurreeks van station De Bilt ook toegepast op de dagsommen van 11 andere locaties in Nederland. De neerslaghoeveelheden die gemiddeld 1x per 10 jaar en 1x per 1000 jaar worden overschreden zijn in detail geanalyseerd. Hierbij is gevonden dat het verschil tussen de hoogste en laagste waarden van de neerslaghoeveelheden in beide gevallen ongeveer 20% bedraagt. Bij een overschrijdingsfrequentie van eens per 10 jaar is dit verschil statistisch significant, voor de lagere overschrijdingsfrequentie van eens per 1000 jaar kan statistisch niet worden aangetoond dat het verschil significant is. De eenvoudigste manier om met dergelijke regionale verschillen rekening te houden bij neerslagduren van 24 uur en meer is door schaling met de jaarsommen van de neerslag [8]. Hiermee is een indicatie te verkrijgen van de statistiek voor een willekeurige locatie in Nederland. Voor korte dueren (minder dan 24 uur) kunnen de waarden afgeleid van De Bilt gebruikt worden voor iedere willekeurige locatie [8].

Gezien de recente discussies over regionale verschillen in de neerslagstatistiek [6,10], is een nadere kwantificering van de grootte en de statistische betrouwbaarheid van deze verschillen gewenst. Hiervoor is het nodig meer neerslagreeksen te analyseren dan in dit onderzoek is gedaan. Een voorstel voor de analyse van de ruimtelijke verdeling van extreme neerslag is onlangs door een consortium onder aanvoering van HKV LIJN IN WATER ingediend in het kennisimpuls programma “Leven met Water”.

## Klimaatverandering

Verschillende scenario's voor ons toekomstig klimaat zijn in het rapport van het Intergovernmental Panel on Climate Change van de Verenigde Naties uitgewerkt. Op basis hiervan zijn ook scenario's voor Nederland afgeleid. Ondanks de mogelijk grote veranderingen in het Nederlandse neerslagklimaat, blijft het belangrijk om een goed inzicht te hebben in de statistiek van het huidige klimaat. Veranderingen in de toekomst zijn namelijk pas goed door te rekenen als het huidig (neerslag)klimaat goed in beeld is. Op basis van de hier gepresenteerde neerslagstatistiek en klimaatscenario's kan worden nagegaan in hoeverre de overschrijdingskansen van extreme neerslaggebeurtenissen veranderen.

*Meer details over de gekozen methoden en uitgebreide resultaten staan in [8]. Dit rapport is tevens te vinden op de website van de STOWA: [www.stowa.nl](http://www.stowa.nl). Er is ook een brochure met de belangrijkste uitkomsten beschikbaar [11].*

## Literatuur

1. Buishand, T.A., 1983. De kansverdeling van D-uurlijkse neerslagsommen ( $D = 1, 2, 4, 6, 12, 24$  of  $48$ ) in Nederland. KNMI Wetenschappelijk Rapport W.R. 83-5. KNMI, De Bilt.
2. Buishand, T.A., 1983. Uitzonderlijk hoge neerslaghoeveelheden en theorie van de extreme waarden. Cultuurtechnisch Tijdschrift, **23**, 9-20; erratum **23**, 81.

3. Buishand, T.A., en Velds, C.A., 1980. Klimaat van Nederland 1, Neerslag en verdamping. KNMI, De Bilt.
4. Coles, S., 2001. An Introduction to Statistical Modeling of Extreme Values. Springer-Verlag, Londen, 208 pp.
5. 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.
6. Hoes, O., Biesma, J., Stoutjesdijk, K. en Kruiningen van, F., 2005. Invloed van de zee op de neerslagverdeling en de frequentie van wateroverlast. H2O, **1-2005**, 32-34.
7. Klein Tank, A.M.G. en Sluijter, R.J.C.F., 2003. Nederland is verder opgewarmd. Hoofdstuk 1 in De toestand van het klimaat in Nederland 2003. KNMI, De Bilt.
8. Smits, A, Wijngaard, J.B., Versteeg, R.P. en Kok, M., 2004. Statistiek van extreme neerslag in Nederland. STOWA publicatie 2004-26. STOWA, Utrecht.
9. Strijker, J. en Hoes, O., 2004. Extreme neerslaghoeveelheden voor ontwerpbuien. H2O, **7-2004**, 18-21.
10. Versteeg, R., 2005. Regionale verschillen in neerslag verdienen betere onderbouwing. H2O, **3-2005**, 12.
11. Wijngaard, J. en Kok, M., 2004. Nieuwe neerslagstatistiek voor waterbeheerders. Brochure 2004-26a. STOWA, Utrecht / KNMI, De Bilt.